



В. И. Сивоглазов, И. Б. Агафонова,
Е. Т. Захарова

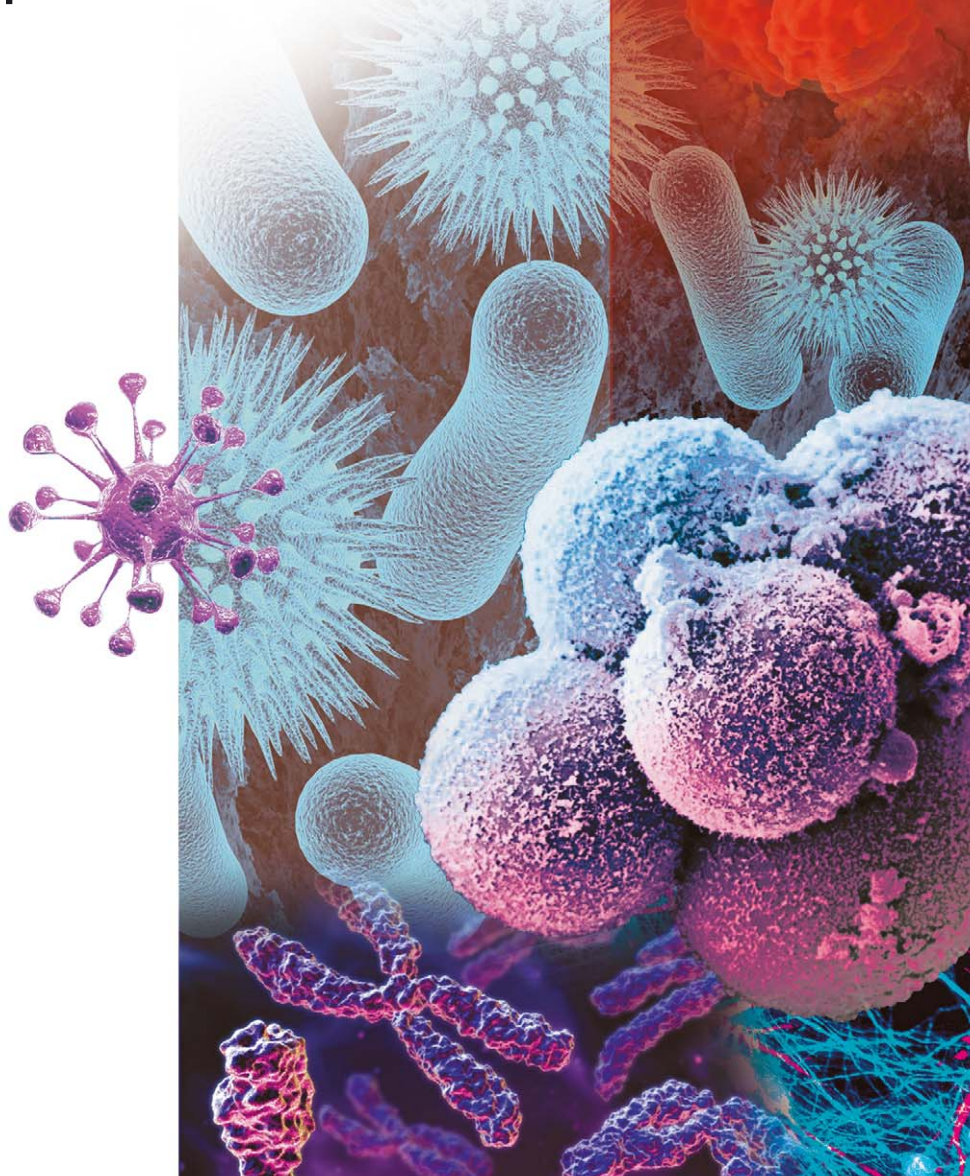
БАЗОВЫЙ УРОВЕНЬ

10

к л а с с

БИОЛОГИЯ

ОБЩАЯ БИОЛОГИЯ



В. И. Сивоглазов, И. Б. Агафонова,
Е. Т. Захарова

БИОЛОГИЯ

ОБЩАЯ БИОЛОГИЯ

БАЗОВЫЙ УРОВЕНЬ

Учебник

Допущено
Министерством просвещения
Российской Федерации

11-е издание, стереотипное

Москва
«Просвещение»
2022

10
класс

УДК 373.167.1:57+57(075.3)

ББК 28.0я72

С34

Издание выходит в pdf-формате.

Сивоглазов, Владислав Иванович.

С34 Биология. Общая биология. 10 класс : базовый уровень : учебник : издание в pdf-формате / В. И. Сивоглазов, И. Б. Агафонова, Е. Т. Захарова. — 11-е изд., стер. — Москва : Просвещение, 2022. — 256 с. : ил.

ISBN 978-5-09-101674-1 (электр. изд.). — Текст : электронный.
ISBN 978-5-09-087946-0 (печ. изд.).

Учебник адресован учащимся 10 класса и рассчитан на преподавание предмета 1 или 2 часа в неделю.

Современное оформление, многоуровневые вопросы и задания, дополнительная информация и возможность параллельной работы с электронной формой учебника способствуют эффективному усвоению учебного материала.

Учебник соответствует Федеральному государственному образовательному стандарту среднего общего образования.

УДК 373.167.1:57+57(075.3)
ББК 28.0я72

Учебное издание

Сивоглазов Владислав Иванович

Агафонова Инна Борисовна

Захарова Екатерина Тимофеевна

БИОЛОГИЯ. ОБЩАЯ БИОЛОГИЯ

10 класс

Базовый уровень

Учебник

Ответственный редактор *И. Б. Морзунова*

Художественные редакторы *М. Г. Мицкевич, А. А. Шувалова*. Художественное оформление *М. Г. Мицкевич*. Технический редактор *И. В. Грибкова*
Компьютерная верстка *О. А. Марочкина*. Корректор *Г. И. Мосякина*

Подписано к печати 14.08.2021. Формат 70×100/16.

Гарнитура «Школьная».

Усл. печ. л. 20,7. Тираж экз. Заказ № .

Акционерное общество «Издательство «Просвещение».

Российская Федерация,

127473, г. Москва, ул. Краснопролетарская, д. 16, стр. 3, этаж 4, помещение I.

Адрес электронной почты «Горячей линии» — vopros@prosv.ru.

ISBN 978-5-09-101674-1 (электр. изд.)

ISBN 978-5-09-087946-0 (печ. изд.)

© АО «Издательство «Просвещение», 2021

© Художественное оформление.

АО «Издательство «Просвещение», 2021

Все права защищены

Как работать с учебником

Уважаемые старшеклассники!

Вы уже знакомы со многими закономерностями общей биологии. Данный учебник не является простым повторением известного вам материала. Опираясь на ваши знания, мы рассказываем вам новое, одновременно повторяя и углубляя известное ранее.

Весь материал курса общей биологии разделён на пять **глав**. Первая глава — вводная. Она посвящена изучению и повторению сущности и свойств живого, уровней организации и методов познания живой природы. Следующие четыре главы соответствуют уровням организации живой материи: клетка, организм, вид и экосистема. Мысленно переходя с уровня на уровень, вы познаете процессы и явления, происходящие на них. В учебнике 10 класса мы подробно познакомимся с двумя основными уровнями — клеточным и организменным. Вид и экосистему мы будем изучать в 11 классе.

Приступая к изучению нового материала, просмотрите соответствующий **параграф** учебника. Обратите внимание на его структуру, изучите подзаголовки. Это напомнит вам о том, что вы слышали на уроке. Прочитайте параграф. Пусть вас не пугает его объём. Материал учебника насыщен разнообразными примерами, историческими справками, сообщениями о новых открытиях. Можно было написать коротко и сухо, выжать одни определения и термины. Но было бы интересно это читать?

Красочные *рисунки, слайды, микрофотографии* помогут разобраться в новом материале. *Понятия и законы*, на которые необходимо обратить особое внимание, выделены в тексте курсивом. Прочитайте *дополнительный материал*, помещённый в рамке. *Вопросы для повторения и задания* в конце параграфа помогут повторить изученный материал. Рубрика «*Подумайте! Выполните!*» представляет вопросы и задания поисково-творческого уровня, направленные на достижение личностных и метапредметных результатов.

Материал в рубрике «*Узнайте больше*» расширяет и углубляет основные базовые знания курса. Рубрика «*Повторите и вспомните!*» позволит вам связать общебиологические знания с материалом предыдущих курсов биологии, сформировать единое биологическое пространство, где действуют общие законы. Если вы планируете в дальнейшем сдавать единый государственный экзамен, этот материал поможет вам подготовиться и успешно пройти это испытание.

Большую помощь при изучении курса вам окажет электронная форма учебника. Пользуясь ею, вы сможете не только усвоить новое, но и повторить изученный материал, проверить свои знания.

Желаем успехов!

Авторы

Введение: роль биологии в формировании современной картины мира, практическое значение биологических знаний

Биология — наука о жизни. Её название произошло от двух греческих слов: *bios* (жизнь) и *logos* (наука, слово). Слово о жизни... Какая наука имеет более глобальное название?.. Изучая биологию, человек познаёт самого себя как индивидуума и как члена определённой популяции, как представителя вида *Homo sapiens* и как типичного млекопитающего, он может ощутить себя элементом определённой экосистемы и неотъемлемой частью биосферы. Задумавшись о строении своего тела, о тех принципах и свойствах, которые лежат в основе функционирования каждой клетки, каждого органа, человек всё равно не перестанет ощущать себя индивидуумом: свойство целого не есть простая сумма свойств его частей.

Любого из нас на протяжении всей нашей жизни окружает жизнь в самых различных её проявлениях. И право на жизнь, которое мы получили, столь же незыблемо, как и право на жизнь любого другого живого существа. Все мы, живущие вместе на одной планете Земля, — члены одной большой команды — биосферы. И у каждого из нас своя роль, своя задача и своя судьба, которую мы во многом определяем сами и которая зависит от всех нас. Мы в ответе за нашу Землю. И для того чтобы сохранять и приумножать жизнь, мы должны быть мудрыми, должны знать основные принципы, законы и свойства, которые обеспечивают существование этой жизни и которые определяют саму жизнь.

Наука о жизни должна стать неотъемлемой частью мировоззрения каждого современного человека, независимо от его специальности. Основные биологические теории и гипотезы, формирующие естественно-научную систему мира, являются обязательным элементом интеллектуального багажа наших современников. Только на основе биологических знаний возможно решение глобальных задач человечества.

Быстрый рост населения планеты и связанное с ним увеличение потребности в продуктах питания требуют интенсификации сельского хозяйства. Продуманное рациональное природопользование, организация правильных севооборотов, создание новых высокопродуктивных форм микроорганизмов, растений и животных, биологические способы борьбы с вредителями — всё это должно решить одну из основных проблем современности — проблему дефицита пищевых ресурсов.

Незнание или игнорирование законов биологии приводит к тяжёлым последствиям. Глобальное загрязнение биосферы нарушает сложившееся в природе равновесие и грозит гибелью многим организмам. Здоровье человечества находится в прямой зависимости от здоровья биосферы, поэтому экологическое мышление должно стать нормой жизни современного общества.

Всё больше в современном промышленном производстве используют живые организмы, биологические системы и биологические процессы. Развивается микробиологический синтез ферментов, витаминов, антибиотиков. С помощью методов генной и клеточной инженерии получают многие биологически активные вещества. Методы генотерапии и клеточные технологии, в том числе и использование стволовых клеток, позволяют разрабатывать способы лечения и коррекции состояния больных с наследственными заболеваниями.

Создание современных биотехнологий, решение экологических задач, проблемы здоровья человека и увеличения продолжительности жизни — всё это так или иначе касается каждого жителя Земли.

В настоящее время высокий уровень развития делает биологию реальной производительной силой, а по уровню биологических теоретических и прикладных исследований можно судить о материально-техническом развитии общества.

Вы приступаете к изучению общей биологии, уже имея большой запас знаний. Химия и физика, география и анатомия, история и ботаника — нельзя отделить эти науки друг от друга. Они связаны между собой тысячами общих судеб, методов, открытий. Как рассказать о селекции, не вспомнив путешествия Н. И. Вавилова и географию материков? Можно ли объяснить строение и функции нуклеиновых кислот, не используя знания химии? Распределение биомассы в биосфере станет ещё более понятным, если мы обратимся к законам физики. Вспоминая работы Аристотеля, Геродота, Галена, мы погружаемся в историю.

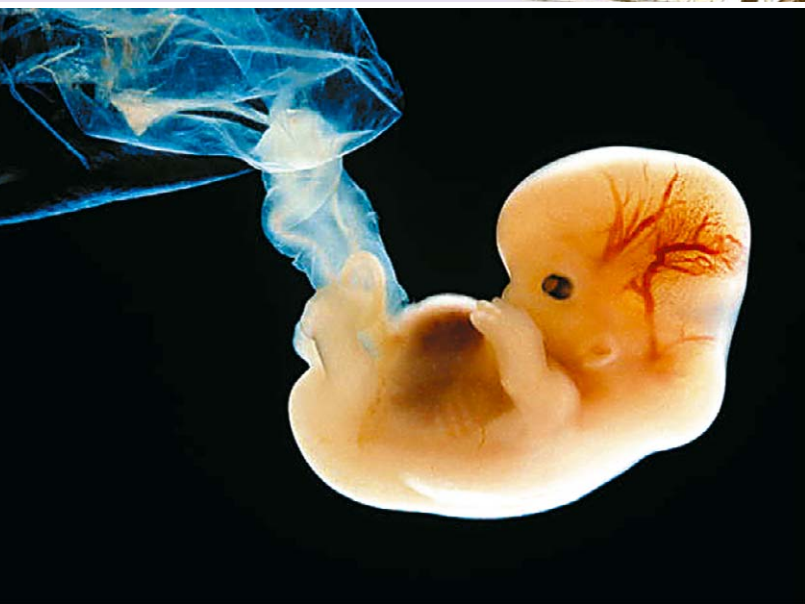
Биология, как и любая другая наука, опирается на знания всего человечества. Ваши знания, ваша жизнь так или иначе, прямо или косвенно будут связаны с этой удивительной наукой.

Мы желаем вам успеха в изучении биологии. И если в процессе учёбы вы почувствуете, что биология — это наука не об абстрактных понятиях и законах, а о вас, о вашей жизни и о вашем будущем, значит, мы не зря написали эти учебники.

ГЛАВА

1

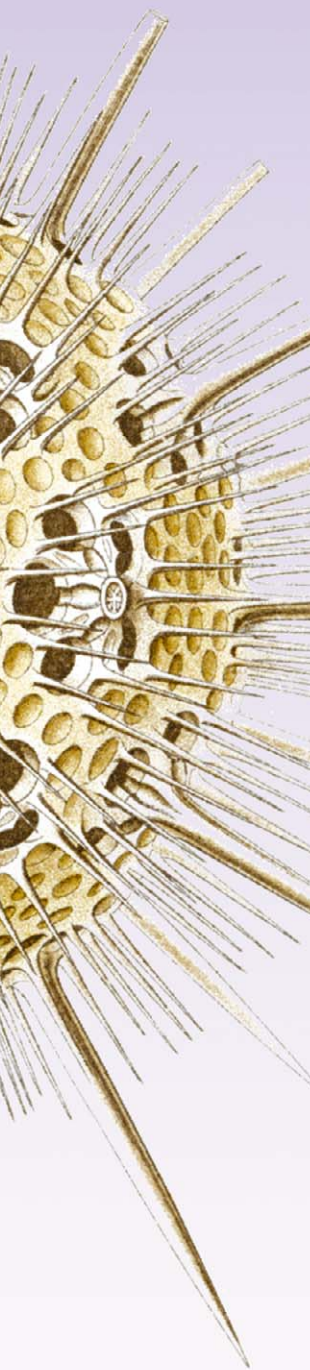
Биология как наука. Методы научного познания



ТЕМЫ

*Краткая история развития биологии.
Система биологических наук*

*Сущность и свойства живого.
Уровни организации
и методы познания живой природы*



1 ■ Краткая история развития биологии

Вспомните!

Какие достижения современной биологии вам известны?
Каких учёных-биологов вы знаете?

Современная биология уходит корнями в глубокую древность, мы находим её истоки в цивилизациях прошлых тысячелетий: в Древнем Египте, Древней Греции.

Первым учёным, создавшим научную медицинскую школу, был древнегреческий врач *Гиппократ* (ок. 460 — ок. 370 до н. э.). Он считал, что у каждой болезни есть естественные причины и их можно узнать, изучая строение и жизнедеятельность человеческого организма. С древних времён и по сей день врачи торжественно произносят клятву Гиппократа, обещая хранить врачебную тайну и ни при каких обстоятельствах не оставлять больного без медицинской помощи.

Великий энциклопедист древности *Аристотель* (384—322 до н. э.) стал одним из основателей биологии как науки, впервые обобщив биологические знания, накопленные до него человечеством. Он разработал систематику животных, определив в ней место и человеку, которого он называл «общественным животным, наделённым разумом». Некоторые труды Аристотеля были посвящены происхождению животных.

Древнеримский учёный и врач *Клавдий Гален* (ок. 130 — ок. 200), изучая строение млекопитающих, заложил основы анатомии человека. В течение следующих пятнадцати веков его труды были основным источником знаний по анатомии.

В Средние века в Европе воцарился период застоя во всех областях знаний. В это время традиции античных авторов нашли своё продолжение в странах Передней и Средней Азии, где жили и творили такие выдающиеся учёные, как *Абу Али Ибн Сина (Авиценна)* (ок. 980—1037) и *Абу Рейхан Мухаммед ибн Ахмет аль-Бируни* (973 — ок. 1050). От того времени в современной анатомической номенклатуре сохранилось множество арабских терминов.

Наступление эпохи Возрождения ознаменовало начало нового периода в развитии биологии.

Резко возрос интерес к биологии в эпоху Великих географических открытий (XV в.). Открытие новых земель, налаживание торговых отношений между государствами расширяли сведения о животных и растениях. Ботаники и зоологи описывали множество новых, неизвестных ранее видов организмов, принадлежащих к различным царствам живой природы.

Один из выдающихся людей этой эпохи — *Леонардо да Винчи* (1452—1519) — описал многие растения, изучал строение человеческого тела, деятельность сердца и зрительную функцию.

После того как был снят церковный запрет на вскрытие человеческого тела, блестящих успехов достигла анатомия человека, что получило отражение в классическом труде *Андреаса Везалия* (1514—1564) «Строение человеческого тела» (рис. 1). Величайшее научное достижение — открытие кровообращения — совершил в XVII в. английский врач и биолог *Уильям Гарвей* (1578—1657).

Новую эру в развитии биологии ознаменовало изобретение в конце XVI в. микроскопа. Уже в середине XVII в. была открыта клетка, а позднее обнаружен мир микроскопических существ — простейших и бактерий, изучено развитие насекомых и принципиальное строение сперматозоидов.

В XVIII в. шведский натуралист *Карл Линней* (1707—1778) предложил систему классификации живой природы и ввёл бинарную (двойную) номенклатуру для наименования видов.

Карл Эрнст Бэр (*Карл Максимович Бэр*) (1792—1876), профессор Петербургской медико-хирургической академии, изучая внутриутробное развитие, установил, что зародыши всех животных на ранних этапах развития схожи, сформулировал закон зародышевого сходства и вошёл в историю науки как основатель эмбриологии.

Первым биологом, который попытался создать стройную и целостную теорию эволюции живого мира, стал французский учёный *Жан Батист Ламарк* (1774—1829). Палеонтологию, науку об ископаемых животных и растениях, создал французский зоолог *Жорж Кювье* (1769—1832).

Огромную роль в понимании единства органического мира сыграла клеточная теория зоолога *Теодора Шванна* (1810—1882) и ботаника *Маттиаса Якоба Шлейдена* (1804—1881).



Рис. 1. Титульный лист книги А. Везалия «Строение человеческого тела», напечатанной Иоганном Оporином в 1543 г.

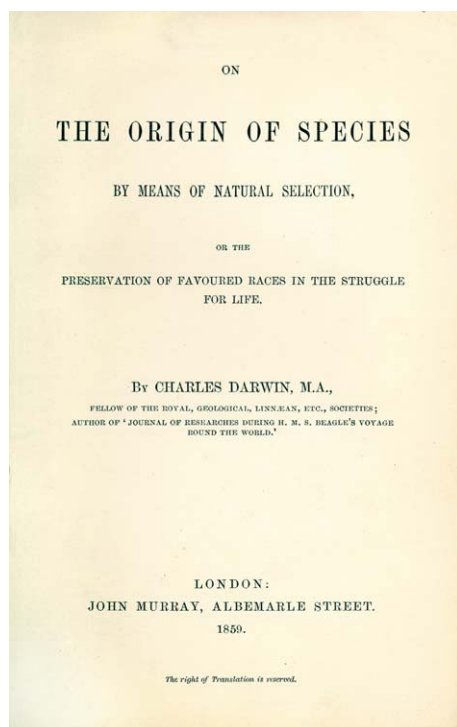


Рис. 2. Титульная страница книги Ч. Дарвина «Происхождение видов путём естественного отбора, или Сохранение благоприятствуемых пород в борьбе за жизнь» (издание 1859 г.)

Крупнейшим достижением XIX в. стало эволюционное учение *Чарлза Роберта Дарвина* (1809—1882), которое имело определяющее значение в формировании современной естественно-научной картины мира (рис. 2).

Основоположителем генетики, науки о наследственности и изменчивости, стал *Грегор Йоганн Мендель* (1822—1884), работы которого настолько опередили своё время, что были не поняты современниками и открыты заново спустя 35 лет.

Одним из основателей современной микробиологии стал немецкий учёный *Роберт Кох* (1843—1910), а труды *Луи Пастера* (1822—1895) и *Ильи Ильича Мечникова* (1845—1916) определили появление иммунологии.

Развитие физиологии связано с именами великих российских учёных *Ивана Михайловича Сеченова* (1829—1905), заложившего основы изучения высшей нервной деятельности, и *Ивана Петровича Павлова* (1849—1936), создавшего учение об условных рефlekсах.

XX в. ознаменовался бурным развитием биологии. Мутационная теория *Гуго де Фриза* (1848—1935), хромосомная теория наследственности *Томаса Ханта Моргана* (1866—1945), учение о факторах эволюции *Ивана Ивановича Шмальгаузена* (1884—1963), учение о биосфере *Владимира Ивановича Вернадского* (1863—1945), открытие антибиотиков *Александром Флемингом* (1881—1955), установление структуры ДНК *Джеймсом Уотсоном* (р. 1928) и *Фрэнсисом Криком* (1916—2004) — невозможно перечислить всех тех, кто своим самоотверженным трудом создавал современную биологию, которая в настоящее время является одной из наиболее бурно развивающихся областей человеческого знания.

XX в. ознаменовался бурным развитием биологии. Мутационная теория *Гуго де Фриза* (1848—1935), хромосомная теория наследственности *Томаса Ханта Моргана* (1866—1945), учение о факторах эволюции *Ивана Ивановича Шмальгаузена* (1884—1963), учение о биосфере *Владимира Ивановича Вернадского* (1863—1945), открытие антибиотиков *Александром Флемингом* (1881—1955), установление структуры ДНК *Джеймсом Уотсоном* (р. 1928) и *Фрэнсисом Криком* (1916—2004) — невозможно перечислить всех тех, кто своим самоотверженным трудом создавал современную биологию, которая в настоящее время является одной из наиболее бурно развивающихся областей человеческого знания.

Система биологических наук. Современная биология — это совокупность естественных наук, изучающих жизнь как особую форму существования материи. Одними из первых в биологии сложились

комплексные науки: зоология, ботаника, анатомия и физиология. Позднее внутри них сформировались более узкие дисциплины, например внутри зоологии появилась ихтиология (наука о рыбах), энтомология (о насекомых), арахнология (о пауках) и т. д. Многообразие организмов изучает систематика, историю живого мира — палеонтология. Различные свойства живого являются предметом исследования таких наук, как генетика (закономерности изменчивости и наследственности), этология (поведение), эмбриология (индивидуальное развитие), эволюционное учение (историческое развитие).

В середине XX в. в биологию начали активно проникать методы и идеи других естественных наук. На границах смежных дисциплин возникали новые биологические направления: биохимия, биофизика, биогеография, молекулярная биология, космическая биология и многие другие. Широкое внедрение математики в биологию вызвало рождение биометрии. Успехи экологии, а также всё более актуальные проблемы охраны природы способствовали развитию экологического подхода в большинстве отраслей биологии.

На рубеже XX и XXI вв. с огромной скоростью начала развиваться биотехнология — направление, которому несомненно принадлежит будущее. Последние достижения в этой области открывают широкие перспективы для создания биологически активных веществ и новых лекарственных препаратов, для лечения наследственных заболеваний и осуществления селекции на клеточном уровне.

В настоящее время биология стала реальной производительной силой, по развитию которой можно судить об общем уровне развития человеческого общества.

Вопросы для повторения и задания

1. Расскажите о вкладе в развитие биологии древнегреческих и древнеримских философов и врачей.
2. Охарактеризуйте особенности воззрений на живую природу в Средние века, эпоху Возрождения.
3. Используя знания, полученные на уроках истории, объясните, почему в Средние века в Европе наступил период застоя во всех областях знаний.
4. Какое изобретение XVII в. дало возможность открыть и описать клетку?
5. Каково значение для биологической науки работ Л. Пастера и И. И. Мечникова?
6. Перечислите основные открытия, сделанные в биологии в XX в.
7. Назовите известные вам естественные науки, составляющие биологию. Какие из них возникли в конце XX в.?

Подумайте! Выполните!

1. Проанализируйте изменения, произошедшие в науке в XVII—XVIII вв. Какие возможности они открыли перед учёными?
2. Как вы понимаете выражение «прикладная биология»?
3. Решение каких проблем человечества зависит от уровня биологических знаний?
4. Проанализируйте материал параграфа. Составьте хронологическую таблицу крупных достижений в области биологии. Какие страны в какие временные периоды были основными «поставщиками» новых идей и открытий? Сделайте вывод о связи между развитием науки и другими характеристиками государства и общества.
5. Приведите примеры современных дисциплин, возникших на стыке биологии и других наук, не упомянутые в параграфе. Что является предметом их изучения? Попробуйте предположить, какие разделы биологии могут возникнуть в будущем.
6. Обобщите информацию о системе биологических наук и представьте её в виде сложной иерархической схемы. Сравните схему, созданную вами, с результатами, которые получились у ваших одноклассников. Одинаковы ли ваши схемы? Если нет, объясните, в чём их принципиальные отличия.
7. Оцените роль биологических знаний в формировании мировоззрения современного человека. Составьте 10—15 тезисов, раскрывающих значимость биологической информации в жизни каждого.
8. Организационный проект. Выберите важное событие в истории биологии, годовщина которого приходится на текущий или следующий год. Разработайте программу вечера (конкурса, викторины), посвящённого этому событию.

Повторите и вспомните!

Ботаника

В настоящее время ботаническая наука разделилась на ряд самостоятельных, но одновременно взаимосвязанных дисциплин.

Морфология в широком смысле слова — это наука о строении растений, в узком смысле — наука о внешнем их строении. *Анатомия* исследует внутреннее строение растений. Из анатомии растений выделилась *цитология*, изучающая строение клетки. С изобретением электронного микроскопа возможности цитологических исследований значительно расширились. Особое значение приобрела *эмбриология растений*, изучающая ранние стадии развития растительных организмов. *Физиология растений* исследует процессы, происходящие внутри растительного организма. *Палеобо-*

таника изучает ископаемые остатки растений, что позволяет восстановить историю растительного мира. *Геоботаника* — наука о растительном покрове Земли, распространении и закономерностях размещения растительных сообществ. Часто в состав геоботаники включают *географию растений*.

В настоящее время активно развиваются прикладные отрасли ботаники: растениеводство, лесное хозяйство, фармакология и парфюмерная промышленность. Велика роль ботаники в увеличении продуктивности культурных растений, в решении мировой продовольственной проблемы. На первый план выходят такие задачи, как рациональное использование и сохранение растительного мира, защита растений от неблагоприятных факторов.

Зоология

Зоология представляет собой сложную науку, состоящую из множества научных дисциплин. Одни из них изучают отдельные группы животных, другие исследуют их строение, развитие, жизнедеятельность.

К первой группе зоологических дисциплин относятся такие науки, как, например, *энтомология* — наука, изучающая насекомых, *арахнология* — наука о пауках, *малакология* — наука о моллюсках, *герпетология* — наука о земноводных и пресмыкающихся и др. Причём все эти науки объединяются в два раздела: зоология позвоночных, изучающая всего один тип — хордовых, и зоология беспозвоночных, исследующая все остальные типы животных. Такое разделение в зоологии возникло ещё во времена Аристотеля и утвердилось при жизни Жана Батиста Ламарка.

Вторая группа зоологических дисциплин не менее разнообразна. *Морфология* и *анатомия* изучают внешнее и внутреннее строение животных, *гистология* исследует ткани, а объектом *цитологии* являются отдельные клетки. *Физиология* изучает жизнедеятельность животных. *Эмбриология* исследует индивидуальное развитие. *Этология* — это наука о поведении животных. *Палеозоология* — наука об ископаемых животных, она изучает их строение, геологическое распространение, историческое развитие, происхождение, взаимоотношения с современными организмами.

В середине XX в. в зоологию начали активно проникать методы и идеи других естественных наук. На границах смежных дисциплин возникали новые биологические направления, например биохимия животных изучает химические процессы, протекающие в животном организме.

Многие современные науки, такие как генетика, молекулярная биология, экология, решают свои актуальные задачи, используя для исследования животных. Тесно связана с практической деятельностью человека прикладная зоология, которая включает сельскохозяйственную, лесную, медицинскую зоологию, паразитологию и другие разделы.

Науки о человеке

Зачатки научных знаний о человеке возникли в недрах античной философии. Постепенно, в течение тысячелетий, накопленные знания о различных сторонах человеческого существования складывались в целостную систему общественных, гуманитарных, естественных и технических наук. Среди них одно из самых древних и почётных мест по праву занимает медицина.

Медицина — область науки и практическая деятельность, направленная на сохранение и укрепление здоровья. В медицине выделяют теоретическую и практическую, или клиническую, медицину. Теоретическая медицина изучает организм человека, его строение и работу в норме и при патологиях, заболевания и нарушения состояния, методы их диагностики, коррекции и лечения с теоретической точки зрения. Практическая медицина (медицинская практика) — это применение всех накопленных медицинской наукой знаний для лечения и профилактики заболеваний и патологических состояний человеческого организма.

Анатомия — это наука о строении организма, его систем и органов. Анатомия рассматривает строение тела человека в разные периоды жизни, начиная с эмбрионального развития и до старческого возраста, изучает половые и индивидуальные особенности организма.

Физиология — это наука о функциях организма, его органов и систем, о процессах, протекающих в организме, и о способах их регуляции.

Психология изучает закономерности возникновения, развития и функционирования психики и психической деятельности человека и групп людей.

Гигиена — это один из наиболее древних разделов медицины. Она изучает влияние окружающей среды, условий жизни и труда на организм человека и разрабатывает меры (санитарные нормы и правила), направленные на предупреждение заболеваний, укрепление здоровья и продление жизни. Прикладной раздел гигиены — санитария.

2. Сущность жизни и свойства живого

Вспомните!

Каково происхождение названия науки биологии?

Что вам известно о свойствах и сущности жизни?

Сущность жизни. Что такое жизнь, основной объект изучения биологии? Где та грань, которая отделяет живое от неживого, распределяет по разным категориям гору и растущее на ней дерево, реку и живущую в ней рыбу? Жизнь как явление природы — величайшая загадка, которую человечество пытается решить уже многие тысячи лет.

В IV в. до н. э. великий греческий учёный Аристотель предположил, что живое становится живым благодаря специальной силе, которая заставляет семя прорасти, рыбу плыть, птицу откладывать яйца. Спустя два с лишним тысячелетия, в начале XIX в., немецкий естествоиспытатель Готфрид Рейнхольд Тревиранус ввёл понятие *vis vitalis* — «жизненная сила». Этот термин дал название философскому направлению — витализму.

С развитием органической химии многие учёные пытались объяснить отличия живого от неживого с помощью химических формул. Именно к этому периоду относится классическое определение жизни, данное Фридрихом Энгельсом: «Жизнь есть способ существования белковых тел, существенным моментом которого является постоянный обмен веществ с окружающей их внешней природой, причём с прекращением этого обмена веществ прекращается и жизнь, что приводит к разложению белка».

На протяжении XX в. делалось много попыток дать максимально полное и корректное определение сущности жизни:

- совокупность специфических физико-химических процессов;
- особая форма существования материи;
- активное, идущее с затратой полученной извне энергии, поддержание и воспроизведение специфической структуры;
- процесс обмена веществ;
- самовоспроизводящийся процесс, который прекращается с разрушением определённой структуры организации.

Существование этих и многих других определений демонстрирует, как сложно дать однозначное определение жизни. ■

■ Российский академик Владимир Александрович Энгельгардт считал, что «именно в способности живого создавать порядок из теплового движения молекул состоит наиболее глубокое, коренное отличие живого от неживого». В неживой природе энергия рассеивается, что приводит к снижению упорядоченности, т. е. к возрастанию энтропии.

В самом общем смысле жизнь можно определить как активное, идущее с затратой полученной извне энергии, поддержание и самовоспроизведение специфической структуры, обязательными компонентами которой являются белки и нуклеиновые кислоты.

Свойства живого. Не придя к единому универсальному определению, учёные договорились характеризовать жизнь целым комплексом свойств и признаков, совокупность которых позволяет определить ту самую границу, которая отделяет живое от неживого.

Рассмотрим основные свойства живой материи.

Единство элементного химического состава. В состав живого входят те же элементы, что и в состав неживой природы, но в других количественных соотношениях; при этом примерно 98% приходится на углерод, водород, кислород и азот.

Единство биохимического состава. В состав всех живых организмов обязательно входят белки, липиды, углеводы и нуклеиновые кислоты.

Единство структурной организации. Единицей строения, жизнедеятельности, размножения, индивидуального развития является клетка; вне клетки жизни нет.

Дискретность и целостность. Любая биологическая система состоит из отдельных взаимодействующих частей (молекулы, органоиды, клетки, ткани, организмы, виды и т. д.), которые вместе образуют структурно-функциональное единство. Причём свойства целой системы не являются простой совокупностью свойств частей, её составляющих.

Обмен веществ и энергии (метаболизм). Обмен веществ и энергии состоит из двух взаимосвязанных процессов: *ассимиляции (пластического обмена)* — синтеза органических веществ в организме (за счёт внешних источников энергии — света, пищи) и *диссимиляции (энергетического обмена)* — процесса распада сложных органических веществ с выделением энергии, которая затем расходуется организмом.

Саморегуляция. Любые живые организмы обитают в постоянно изменяющихся условиях окружающей среды. Благодаря способности к саморегуляции в процессе метаболизма сохраняются относительное постоянство химического состава и интенсивность течения физиологических процессов, т. е. поддерживается *гомеостаз*.

Открытость. Все живые системы являются открытыми, потому что в процессе их жизнедеятельности между ними и окружающей средой происходит постоянный обмен веществом и энергией (рис. 3).

Размножение. Размножение — это способность организмов воспроизводить себе подобных. В основе воспроизведения лежат реакции матричного синтеза, т. е. образование новых молекул и структур

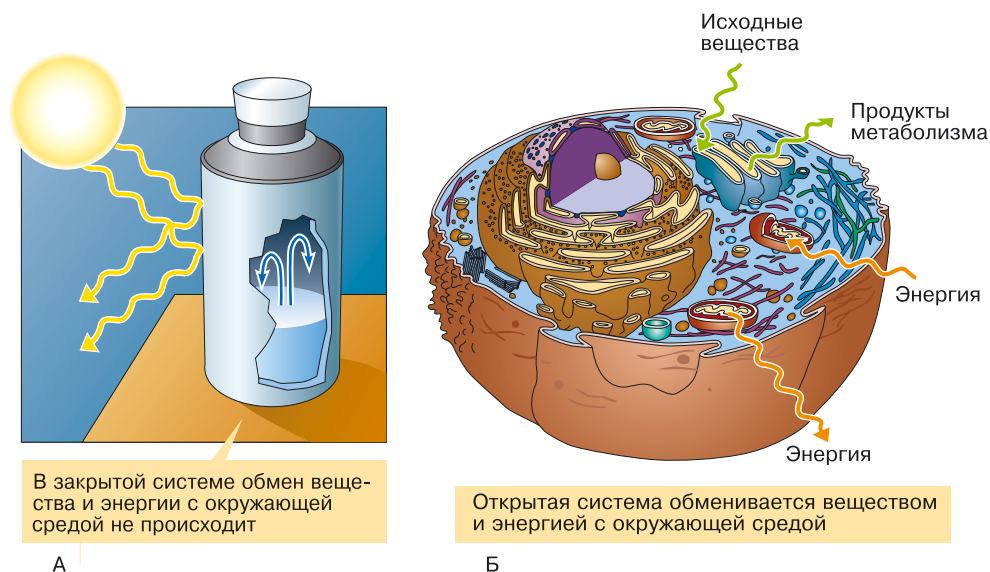


Рис. 3. Закрытая (А) и открытая (Б) системы

на основе информации, заложенной в последовательности нуклеотидов ДНК. Это свойство обеспечивает непрерывность жизни и преемственность поколений.

Наследственность и изменчивость. Наследственность — способность организмов передавать свои признаки, свойства и особенности развития из поколения в поколение. Основой наследственности является относительное постоянство строения молекул ДНК.

Изменчивость — свойство, противоположное наследственности; способность живых организмов приобретать новые признаки, отличные от качеств других особей того же или другого вида. Изменчивость, обусловленная изменениями наследственных задатков — генов, создаёт разнообразный материал для естественного отбора, т. е. отбора особей, наиболее приспособленных к конкретным условиям существования в природе. Это приводит к появлению новых форм жизни, новых видов организмов.

Рост и развитие. Индивидуальное развитие, или *онтогенез*, — развитие живого организма от зарождения до момента смерти. В процессе онтогенеза постепенно и последовательно проявляются индивидуальные свойства организма. В основе этого лежит поэтапная реализация наследственных программ. Индивидуальное развитие обычно сопровождается ростом.

Историческое развитие, или *филогенез*, — необратимое направленное развитие живой природы, сопровождающееся образованием новых видов и прогрессивным усложнением жизни.

Раздражимость и движение. Раздражимость — это способность организма избирательно реагировать на внешние и внутренние воздействия, т. е. воспринимать раздражение и отвечать определённым образом. Ответную реакцию организма на раздражение, осуществляемую при участии нервной системы, называют *рефлексом*.

Организмы, у которых отсутствует нервная система, отвечают на воздействие изменением характера движения или роста, например листья растений поворачиваются к свету.

Ритмичность. Суточные и сезонные ритмы направлены на приспособление организмов к меняющимся условиям существования. Наиболее известным ритмическим процессом в природе является чередование периодов сна и бодрствования.

Некоторые отдельные свойства, рассмотренные нами, могут встречаться и в неживой природе — сталактиты растут, вода в реке движется, чередуются приливы и отливы. Но в совокупности все перечисленные свойства характерны только для живых организмов.

Вопросы для повторения и задания

1. Что такое жизнь? Попробуйте дать своё определение.
2. Назовите основные свойства живой материи.
3. Объясните, в чём, по вашему мнению, заключаются принципиальные различия обмена веществами в неживой природе и у живых организмов.
4. Каким образом связаны наследственность, изменчивость и репродукция в обеспечении жизни на Земле?
5. Дайте определение понятия «развитие». Какие формы развития вы знаете?
6. Вспомните из курса биологии животных, чем отличаются прямое и непрямое развитие.
7. Что такое раздражимость? Каково значение избирательной реакции организмов для их приспособления к условиям существования?
8. В чём значение ритмичности процессов жизнедеятельности? Приведите примеры ритмических процессов в растительном и животном мире.

Подумайте! Выполните!

1. Почему существует множество определений понятия «жизнь», но нет ни одного краткого и общепризнанного?
2. Объясните, как вы понимаете фразу: «Свойства системы не являются простой совокупностью свойств частей, её составляющих». Приведите примеры, доказывающие правильность этой фразы.

3. Вспомните материал курса «Человек и его здоровье» и назовите системы человека, которые обеспечивают гомеостаз. Какие структуры образуют эти системы?
4. Приведите примеры увеличения численности объектов в неживой природе и объясните, почему эти процессы нельзя назвать размножением.

Повторите и вспомните!

Растения

Движения растений. Органам высших растений свойственны направленные ростовые движения (изгибы), вызванные односторонним воздействием различных факторов среды (света, влажности, земного притяжения и др.). Такие типы движений называют *тропизмами*. В их основе лежит явление раздражимости. Обычно тропизмы возникают в растущих частях растений за счёт более быстрого роста клеток на одной стороне листа, стебля или корня. Разная скорость роста связана с асимметричным распределением растительных гормонов (фитогормонов), в первую очередь гормона роста (ауксина). Движение, направленное в сторону раздражителя, называют положительным тропизмом, в противоположную сторону — отрицательным. В зависимости от природы раздражителей различают разные виды тропизмов. Например, рост побега по направлению к источнику света является положительным фототропизмом, рост корня в направлении центра Земли — положительным геотропизмом, а рост побега — отрицательным геотропизмом.

Животные

Движения животных. Простейшие обладают раздражимостью, они реагируют на свет, температуру, химические вещества, механические воздействия и т. д. Воздействие раздражителей простейшие воспринимают с помощью специальных рецепторов, расположенных в мембранах. Ответом на раздражение у простейших обычно служит движение — *таксис*. Если организмы перемещаются по направлению к действующему фактору, например к свету, говорят о положительном таксисе (фототаксисе). Движение в противоположном направлении называют отрицательным таксисом.

Человек

Рефлекс. Путь, по которому проходит нервный импульс во время рефлекторной реакции, называют *рефлекторной дугой*. С точки зрения анатомии рефлекторная дуга — это цепочка нервных клеток. Начинается рефлекторная дуга с чувствительной структуры — рецептора, воспринимающего определённое раздражение (механическое или световое, звуковое или температурное и т. д.). Вторую часть дуги составляют структуры, передающие сигнал в центральную нервную систему. И наконец, управляющий сигнал из центральной нервной системы должен достичь рабочего органа (мышцы или железы). Пришедший нервный импульс изменит состояние органа, например мышца сократится.

Все рефлексы подразделяют на *соматические*, которые заканчиваются сокращением скелетных мышц, и *вегетативные*, в результате которых изменяется работа внутренних органов. Иногда соматические рефлексы называют двигательными, тем самым подчёркивая, что ответной реакцией в данном случае будет некое движение, видимое глазом. Например, коленный рефлекс, чья рефлекторная дуга образована всего двумя нейронами, является типичным примером двигательных рефлексов.

Вся деятельность человека складывается из рефлексов разной степени сложности: врождённых *безусловных* реакций и *условных* рефлексов, которые формируются в течение жизни.

Сон. Ежесуточные изменения физиологических показателей организма человека называют околосуточными или циркадианными (от лат. *circa* — около, *dies* — день) ритмами. Одним из наиболее ярко выраженных околосуточных ритмов является чередование сна и бодрствования. Исследования спящих людей с помощью электрофизиологических методик показали, что сон человека состоит из циклов, повторяющихся с периодом 60—90 минут. Каждый цикл включает две фазы (стадии): медленноволновой (медленный) сон и быстроволновой (быстрый) сон. Сразу после засыпания развивается медленный сон. В течение медленного сна происходит торможение большинства отделов центральной нервной системы, снижается активность систем органов, дыхание становится редким, частота сердцебиения и давление снижаются, кожа розовеет. На электроэнцефалограмме (ЭЭГ) в это время видны редкие волны большой амплитуды. В конце цикла фаза медленного сна на 10—20 минут сменяется фазой быстрого сна. На ЭЭГ появляется быстрая низкоамплитудная активность, сходная с той, которая регистрируется у человека в период бодрствования. Дыхание становится нерегулярным, увеличивается давление и частота сердцебиения,

сокращается мимическая мускулатура, двигаются пальцы рук. Фазу быстрого сна ещё называют парадоксальным сном или фазой быстрых движений глаз. Во время этой стадии видно, как у спящего под сомкнутыми веками быстро и хаотично движутся глазные яблоки.

3. Уровни организации живой материи. Биологические системы как предмет изучения биологии. Методы биологии

Вспомните!

Какие уровни организации живой материи вам известны?
Какие вы знаете методы научных исследований?

Уровни организации живой материи. Окружающий нас мир живых существ — это совокупность *биологических систем* разной степени сложности, образующих единую иерархическую структуру. Причём следует отчётливо представлять, что взаимосвязь отдельных биологических систем, принадлежащих к одному уровню организации, формирует качественно новую систему. Одна клетка и множество клеток, один организм и группа организмов — разница не только в количестве. Совокупность клеток, обладающих общим строением и функцией, — это качественно новое образование — ткань. Группа организмов — это семья, стая, популяция, т. е. система, обладающая совершенно иными свойствами, нежели простое механическое суммирование свойств нескольких особей.

В процессе эволюции происходило постепенное усложнение организации живой материи. При образовании более сложного уровня предыдущий уровень, возникший ранее, входил в него как составная часть. Именно поэтому уровневая организация и эволюция являются отличительными признаками живой природы. В настоящее время жизнь как особая форма существования материи представлена на нашей планете несколькими уровнями организации (рис. 4).

Молекулярно-генетический уровень. Как бы сложно ни была организована любая живая система, в её основе лежит взаимодействие биологических макромолекул: нуклеиновых кислот, белков, углеводов, а также других органических и неорганических веществ. С этого уровня начинаются важнейшие процессы жизнедеятельности организма: кодирование и передача наследственной информации, обмен веществ, превращение энергии.

Клеточный уровень. Клетка — это структурно-функциональная единица всего живого. Существование клетки лежит в основе

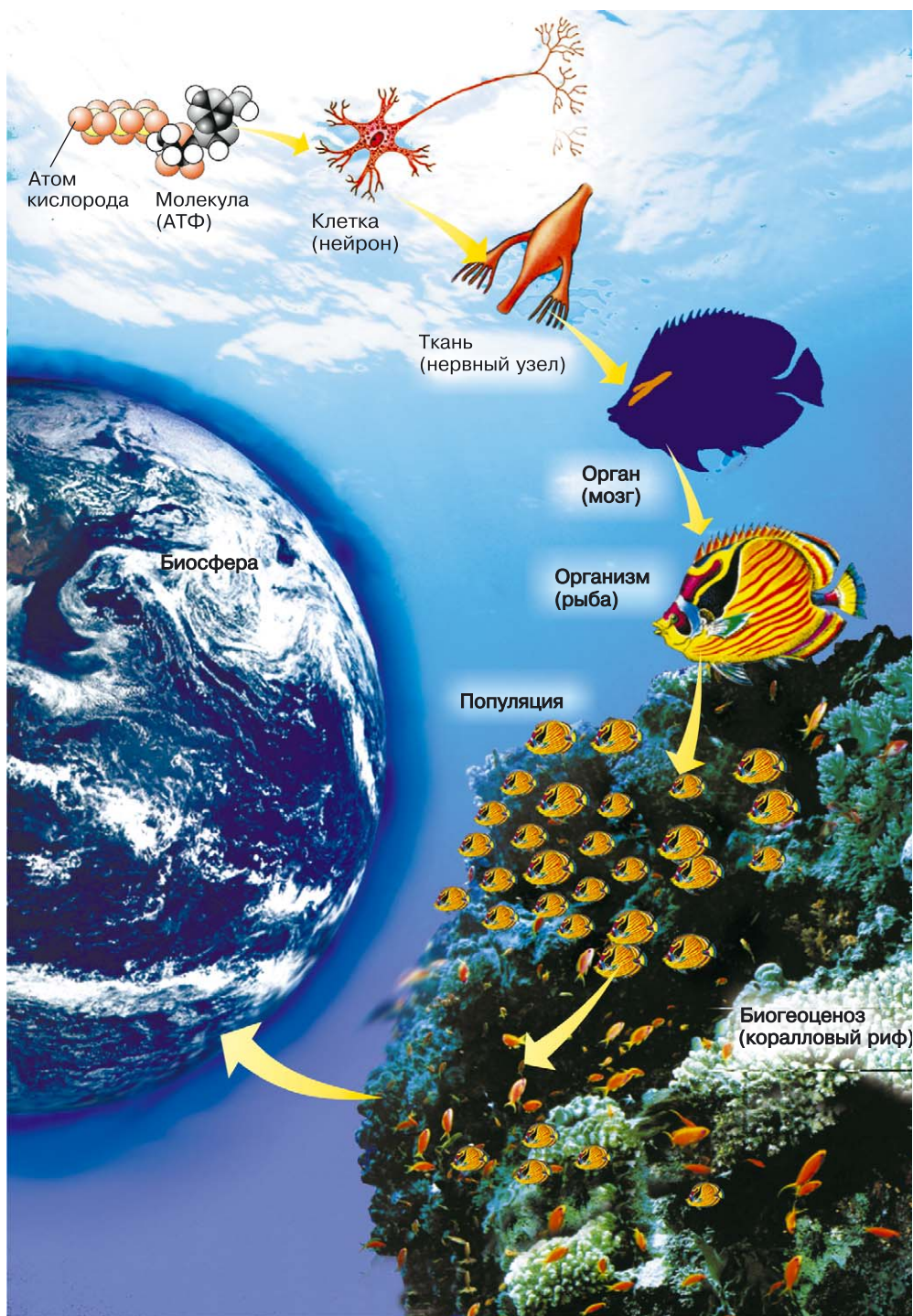


Рис. 4. Уровни организации живой материи

размножения, роста и развития живых организмов. Вне клетки жизни нет, а существование вирусов только подтверждает это правило, потому что они могут реализовывать свою наследственную информацию только в клетке.

Тканевый уровень. Ткань — это совокупность клеток и межклеточного вещества, объединённых общностью происхождения, строения и выполняемой функции. В животных организмах выделяют четыре основных типа ткани: эпителиальную, соединительную, мышечную и нервную. В растениях различают образовательные, покровные, проводящие, механические, основные и выделительные (секреторные) ткани.

Органный уровень. Орган — это обособленная часть организма, имеющая определённую форму, строение, расположение и выполняющая конкретную функцию. Орган, как правило, образован несколькими тканями, среди которых одна (две) преобладает.

Организменный (онтогенетический) уровень. Организм — это целостная одноклеточная или многоклеточная живая система, способная к самостоятельному существованию. Многоклеточный организм образован, как правило, совокупностью тканей и органов. Существование организма обеспечивается путём поддержания гомеостаза (постоянства структуры, химического состава и физиологических параметров) в процессе взаимодействия с окружающей средой.

Популяционно-видовой уровень. Популяция — совокупность особей одного вида, в течение длительного времени проживающих на определённой территории, внутри которой осуществляется в той или иной степени случайное скрещивание и нет существенных внутренних изоляционных барьеров; она частично или полностью изолирована от других популяций данного вида.

Вид — совокупность особей, сходных по строению, имеющих общее происхождение, свободно скрещивающихся между собой и дающих плодовитое потомство. Все особи одного вида имеют одинаковый кариотип, сходное поведение и занимают определённый ареал.

На этом уровне осуществляется процесс видообразования, который происходит под действием эволюционных факторов.

Биогеоценотический (экосистемный) уровень. Биогеоценоз — исторически сложившаяся совокупность организмов разных видов, взаимодействующая со всеми факторами их среды обитания. В биогеоценозах осуществляется круговорот веществ и энергии.

Биосферный (глобальный) уровень. Биосфера — биологическая система высшего ранга, охватывающая все явления жизни в атмосфере, гидросфере и литосфере. Биосфера объединяет все биогеоценозы (экосистемы) в единый комплекс. В ней происходят все вещественно-энергетические круговороты, связанные с жизнедеятельностью всех живых организмов, обитающих на Земле.

Таким образом, жизнь на нашей планете представлена саморегулирующимися и самовоспроизводящимися системами различного ранга, открытыми для вещества, энергии и информации. Происходящие в них процессы жизнедеятельности и развития обеспечивают существование и взаимодействие этих систем.

На каждом уровне организации живой материи существуют свои специфические особенности, поэтому в любых биологических исследованиях, как правило, какой-то определённый уровень является ведущим. Так, например, механизмы деления клетки изучают на клеточном уровне, а основные успехи в области генной инженерии достигнуты на молекулярно-генетическом. Но такое разделение проблем по уровням организации является весьма условным, потому что большинство задач биологии так или иначе касаются одновременно нескольких уровней, а порой и всех сразу. Например, проблемы эволюции затрагивают все уровни организации, а методы генной инженерии, реализуемые на молекулярно-генетическом уровне, направлены на изменение свойств всего организма.

Методы познания живой природы. Исследуя системы разной степени сложности, биология использует разнообразные методы и приёмы. Одним из наиболее древних является *метод наблюдения*, на котором основывается *описательный метод*. Сбор фактического материала и его описание были основными приёмами исследования на раннем этапе развития биологии. Но и в настоящее время они не утратили своего значения. Эти методы широко используют зоологи, ботаники, микологи, экологи и представители многих других биологических специальностей.

В XVIII в. в биологии стал широко применяться *сравнительный метод*, который позволял в процессе сопоставления объектов выявлять сходства и различия организмов и их частей. Благодаря этому методу были заложены основы систематики растений и животных, создана клеточная теория. Применение этого метода в анатомии, эмбриологии, палеонтологии способствовало утверждению в биологии эволюционной теории развития.

Исторический метод позволяет сравнить существующие факты с данными, известными ранее, выявить закономерности появления и развития организмов, усложнения их структуры и функций.

Огромное значение для развития биологии имел *экспериментальный метод*, его первое применение связывают с именем римского врача Галена (II в. н. э.). Гален впервые продемонстрировал участие нервной системы в организации поведения и в работе органов чувств. Однако широко использоваться этот метод начал лишь с XIX в. Классическим образцом применения экспериментального метода являются работы И. М. Сеченова по физиологии нервной деятельности и Г. Менделя по изучению наследования признаков.

В настоящее время биологи всё чаще используют *метод моделирования*, позволяющий воспроизвести такие экспериментальные условия, которые в реальности воссоздать порой не представляется возможным. С помощью компьютерного моделирования, например, можно рассчитать последствия постройки плотины для определённой экосистемы или воссоздать эволюцию определённого вида живых организмов. Меняя параметры, можно выбрать оптимальный путь развития агроценоза или подобрать наиболее безопасное сочетание лекарственных препаратов при лечении конкретного заболевания.

Любое научное исследование, использующее разные методы, состоит из нескольких этапов. Сначала в результате наблюдений собирают данные — *факты*, на основе которых выдвигают *гипотезу*. Для того чтобы оценить верность этой гипотезы, осуществляют серии экспериментов с целью получения новых результатов. Если гипотеза подтверждается, она может стать *теорией*, включающей в себя определённые *правила* и *законы*.

При решении биологических задач используют самую разнообразную технику: световые и электронные микроскопы, центрифуги, химические анализаторы, термостаты, компьютеры и множество других современных приборов и инструментов. ■

■ Настоящую революцию в биологических исследованиях произвело появление электронного микроскопа, в котором вместо светового пучка используют пучок электронов. Разрешающая способность такого микроскопа в 100 раз выше, чем светового.

Одним из видов электронного микроскопа является сканирующий. В нём электронный луч не проходит через образец, а отражается от него и преобразуется в изображение на телеэкране. Это позволяет получать трёхмерное изображение исследуемого объекта.

Вопросы для повторения и задания

1. Как вы считаете, почему необходимо выделять различные уровни организации живой материи?
2. Перечислите и охарактеризуйте уровни организации живой материи.
3. Назовите биологические макромолекулы, входящие в состав живых систем.
4. Как проявляются свойства живого на различных уровнях организации?
5. Какие методы исследования живой материи вы знаете?
6. Может ли многоклеточный организм не иметь тканей и органов? Если вы считаете, что может, приведите примеры таких организмов.

Подумайте! Выполните!

1. Выделите основные признаки понятия «биологическая система».
2. Согласны ли вы с тем, что описательный период в биологии продолжается и в XXI в.? Ответ обоснуйте.
3. Из предыдущих курсов биологии, физики, химии или других предметов вспомните какую-нибудь хорошо известную вам теорию (закон или правило). Попробуйте описать основные этапы её (его) формирования.

Повторите и вспомните!

Растения

Появление тканей и органов растений. Появление тканей и органов в эволюции растений было связано с выходом на сушу. У водорослей отсутствуют органы и специализированные ткани, так как все их клетки находятся в одинаковых условиях (температурный режим, освещённость, минеральное питание, газообмен). Каждая клетка водоросли обычно содержит хлоропласты и способна к фотосинтезу.

Однако, выйдя на сушу, предки современных высших растений попали в совершенно иные условия: кислород, необходимый для дыхания, и углекислый газ, используемый для фотосинтеза, растения должны были получать из воздуха, а воду — из почвы. Возникли проблемы, которые надо было решать: защита от высыхания, поглощение воды из почвы, создание механической опоры, сохранение спор. Существование растений на границе двух сред — почвы и воздуха — привело к возникновению полярности: нижняя часть растения, погружаясь в почву, поглощала воду с растворёнными в ней минеральными веществами, верхняя часть, оставаясь на поверхности, активно фотосинтезировала и обеспечивала всё растение органическими веществами. Так появились два основных вегетативных органа современных высших растений — корень и побег.

Такое расчленение тела растений на отдельные органы, усложнение их структуры и функций происходило постепенно в процессе длительной эволюции растительного мира и сопровождалось усложнением тканевой организации.

Человек

Методы изучения человека. Одним из первых анатомических методов, начиная с эпохи Возрождения, был метод *аутопсии* (вскрытия трупов). Однако в настоящее время существует множество ме-

тодов, которые позволяют изучать организм прижизненно: *рентгеноскопия, ультразвуковое исследование, магнитно-резонансная томография* и многие другие.

Основу всех физиологических методов составляют *наблюдения и эксперименты*. Современные физиологи успешно применяют разнообразные *инструментальные* методы. *Электрокардиограмма* сердца, *электроэнцефалограмма* головного мозга, *термография* (получение теплофотографий), *радиография* (введение в организм радиометки), разнообразные *эндоскопии* (осмотры внутренних органов при помощи специальных приборов — эндоскопов) помогают специалистам не только изучать работу организма, но и на ранних стадиях выявлять заболевания и нарушения в работе органов. Много о состоянии здоровья человека может сказать его артериальное давление, анализ крови и мочи.

Основными методами психологии являются *наблюдения, анкетирование, эксперимент*.

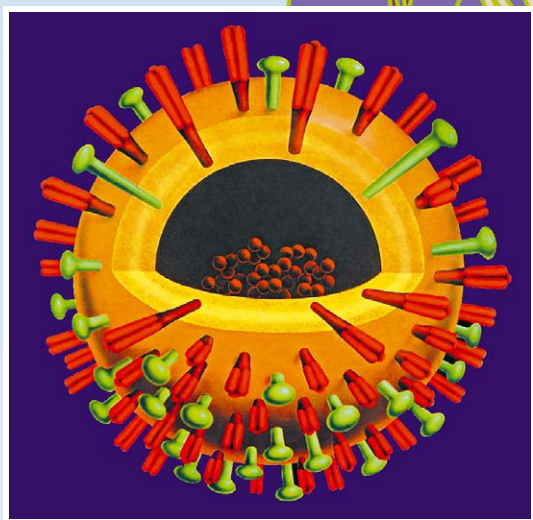
Ваша будущая профессия

1. Оцените роль науки в жизни каждого человека и общества в целом. Напишите эссе по данной теме. Обсудите в классе, существует ли в настоящее время профессиональная деятельность, на которую не влияет развитие науки.
2. Оцените значение информации в современном обществе. Какова роль информации в успешном профессиональном росте? Раскройте смысл высказывания премьер-министра Великобритании Уинстона Черчилля (1874—1965) «Кто владеет информацией — тот владеет миром».
3. Попробуйте смоделировать ситуации, в которых вам могут пригодиться знания, полученные при изучении этой главы.
4. Специальность — комплекс приобретённых путём специальной подготовки и опыта работы знаний, умений и навыков, необходимых для определённого вида деятельности в рамках той или иной профессии. Профессия — социально значимый род занятий человека, вид его деятельности. Определите, что из ниже приведённого списка относится к специальности, а что — к профессии: биология, инженер-эколог, биотехнолог, экология, генный инженер, молекулярный биолог. Аргументируйте свой выбор.
5. Какую специальность вы планируете приобрести в ходе дальнейшего обучения? Определились ли вы уже с выбором профессии?

ГЛАВА

2

Клетка



ТЕМЫ

История изучения клетки.
Клеточная теория

Химический состав клетки

Строение эукариотической
и прокариотической клеток

Реализация наследственной
информации в клетке

Вирусы



Удивительный и загадочный мир окружает нас, жителей планеты, образуя глобальную структуру — биосферу, и мы являемся неотъемлемой её частью. Не менее загадочным и во многом ещё не познанным является мир отдельного организма, будь то человек или птица, гриб или растение. Но в основе существования всех этих миров лежит **универсальная единица всего живого**, функционирование которой обеспечивает нашу жизнедеятельность, формирует нас и придаёт нам индивидуальные черты; которая даёт начало всему живому и при этом сама является живым организмом. Речь идёт о **клетке**.

4. История изучения клетки. Клеточная теория

Вспомните!

Что такое клетка?

Чем клетки отличаются друг от друга?

С помощью какого научного прибора была открыта клетка?

Какие ещё методы изучения клетки вам известны?

Открытие и изучение клетки. Люди узнали о существовании клетки лишь в XVII в. Незадолго до этого, в 1590 г., голландский шлифовальщик стёкол Захарий Янсен, соединив вместе две линзы, впервые изобрёл примитивный микроскоп. Именно благодаря этому изобретению учёные в дальнейшем смогли раскрыть тайну клеточного строения всего живого.



Рис. 5. Микроскоп Роберта Гука и сделанный им рисунок микроскопической структуры тонкого среза пробки

Первый, кто оценил значение увеличительного прибора и применил его для исследования срезов растительных и животных тканей, был английский физик и ботаник Роберт Гук. В 1665 г., изучая срез пробки, он обнаружил структуры, похожие по строению на пчелиные соты, и назвал их ячейками или *клетками* (рис. 5). С тех пор этот термин прочно утвердился в биологии. Правда, надо отметить, что Р. Гук считал, что клетки пустые, а живое вещество — это клеточные стенки.

Примерно в это же время, во второй половине XVII в., известный голландский исследователь Антони ван Левенгук усовершенствовал микроскоп и смог наблюдать живые клетки с увеличением более чем в 200 раз. Именно он впервые описал бактерии, эритроциты, сперматозоиды.

Ещё до открытия клетки, в середине XVII в., известный английский врач Уильям Гарвей предположил, что все живые организмы развиваются из яйца.

Это предположение блестяще доказал российский учёный Карл Максимович Бэр, который в 1827 г. обнаружил яйцеклетку млекопитающих. Данное открытие позволило ему сделать вывод, что каждый организм развивается из одной клетки.

В 1831—1833 гг. Роберт Броун обнаружил в растительных клетках сферическую структуру, которую назвал ядром.

Создание клеточной теории. Для понимания роли клетки в живых организмах огромное значение имели труды ботаника Маттиаса Шлейдена и зоолога Теодора Шванна. Проанализировав все существующие на тот момент знания о клеточном строении живой природы, Т. Шванн сформулировал первую версию *клеточной теории*. Она постулировала, что все организмы, и растительные, и животные, состоят из простейших частей — клеток. Причём каждая клетка в определённом смысле — некое индивидуальное самостоятельное целое. Но в одном организме все клетки действуют совместно, формируя гармоничное единство.

Правда, Шлейден и Шванн ошибались, считая, что новые клетки могут возникать из неклеточного вещества. Это заблуждение было опровергнуто немецким учёным Рудольфом Вирховом, который показал, что все клетки образуются из других клеток путём клеточного деления. В 1858 г. Р. Вирхов написал: «Всякая клетка происходит из другой клетки... Там, где возникает клетка, ей должна предшествовать клетка, подобно тому, как животное происходит только от животного, растение — только от растения».

Клеточная теория оказала огромное влияние на развитие биологии и на формирование современной естественно-научной картины мира. По определению Ф. Энгельса, клеточная теория, закон превращения энергии и эволюционная теория Ч. Дарвина являются тремя величайшими открытиями естествознания XIX в. На основе клеточной теории в середине XIX в. возникла *цитология* (от греч. *цитос* — вместилище, клетка) — наука, изучающая структуру и функции клетки.

К концу XIX в. благодаря усовершенствованию микроскопической техники были открыты основные структурные компоненты клетки и изучен процесс её деления. Немецкий естествоиспытатель Август Вейсман окончательно установил, что хранение и передача наследственных признаков в клетке осуществляются с помощью ядра. Изобретённый в 30-е гг. XX в. электронный микроскоп дал возможность исследовать ультраструктуру клетки. Было обнаружено удивительное сходство в тонком строении клеток различных организмов.

Жизнедеятельность и общие принципы строения клеток. Каждая клетка покрыта плазматической мембраной и имеет внутреннее содержимое — цитоплазму. Любая клетка обладает генетическим ма-

териалом, содержащим наследственную информацию о строении и функционировании самой клетки и всего организма в целом. В зависимости от расположения этого генетического материала все клетки разделяют на *прокариотические* (доядерные), наследственный

материал которых находится непосредственно в цитоплазме, и *эукариотические* (ядерные), чей генетический материал отделён от цитоплазмы ядерной оболочкой, т. е. находится в ядре.

Клетка функционирует как единое целое, отвечая на воздействия внешней среды, взаимодействуя с другими клетками, входя в состав многоклеточных организмов. Она обеспечивает связь между поколениями, являясь носителем наследственной информации. Клетка может представлять целый самостоятельный организм, как, например, амёба, и в этом случае её деятельность гораздо разнообразнее, чем работа специализированной клетки многоклеточного организма.

Несмотря на принципиальное сходство во внутреннем строении, клетки могут существенно отличаться по размеру и форме. Например, человеческий организм состоит из сотни видов клеток (рис. 6). Самой крупной среди них является яйцеклетка (до 200 мкм), а одними из самых мелких — некоторые клетки нервной ткани (около 5 мкм). Эритроциты человека имеют форму двояковогнутого диска, клетки гладкой мышечной ткани похожи на длинное узкое веретено, клетки эпителия могут быть кубическими, плоскими, цилиндрическими, а лейкоциты вообще не имеют постоянной формы. Крупные остециты с многочисленными отростками входят в состав костной ткани, а разнообразные нервные клетки звёздчатой, веретеновидной, пирамидальной и иной формы имеют сложные ветвящиеся отростки, длина которых может достигать 1 м и более.

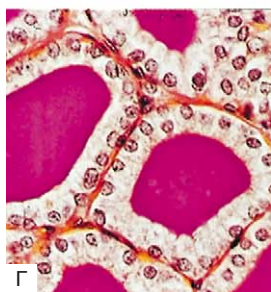
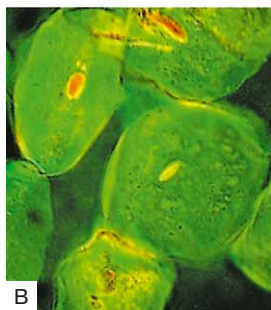
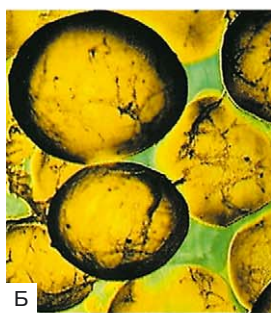
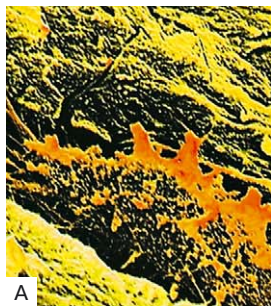


Рис. 6. Разнообразные типы клеток человека: А — клетка костной ткани; Б — клетки жировой ткани; В — эпителиальные клетки щеки; Г — клетки щитовидной железы

При всём этом разнообразии клеткам присущи общие признаки. Все клетки являются открытыми системами, которые обмениваются веществом и энергией с окружающей средой. Рост и развитие, размножение и раздражимость — эти свойства, необходимые для поддержания жизни, характерны для всех клеток.

Основные положения клеточной теории. Основные положения клеточной теории Т. Шванна, как важнейшего биологического обобщения XIX в., актуальны и в наше время, когда современная цитология, вобрав в себя достижения генетики, молекулярной и физико-химической биологии, превратилась в бурно развивающуюся науку — *клеточную биологию*.

Однако в свете современных знаний сформировались более глубокие представления о структуре и функциях клетки. Рассмотрим основные положения современной клеточной теории.

Клетка — элементарная единица живого. Клетка является наименьшей структурно-функциональной единицей живого и представляет собой открытую, саморегулирующуюся, самовоспроизводящуюся систему. Вне клетки жизни нет. ■

Все клетки сходны по своему химическому составу и имеют общий план строения. Общий принцип организации клеток определяется обязательными функциями, необходимыми для поддержания собственной жизнедеятельности. Однако клетки обладают и специфическими особенностями, связанными с выполнением клетками специальных функций и возникающими в результате клеточной дифференцировки.

Клетка происходит только от клетки. Размножение (увеличение числа) клеток происходит только путём деления предшествующих клеток. Миллиарды клеток, из которых состоит живой организм, возникли в результате делений оплодотворённого яйца (зиготы), поэтому все клетки организма генетически одинаковы.

Многоклеточные организмы представляют собой сложно организованные интегрированные системы, состоящие из взаимодействующих клеток. Кроме клеток в состав многоклеточных организмов входят неклеточные компоненты и гигантские многоядерные образования. Многоклеточный организм обладает новыми специфическими чертами и свойствами, которые не являются простым суммированием свойств составляющих его клеток.

■ Существование вирусов — неклеточной формы жизни — не противоречит этому положению клеточной теории, потому что размножаться вирусы могут только внутри живых клеток. Являясь паразитами на генетическом уровне, вне клетки они не способны к самовоспроизведению и метаболизму.

Сходное клеточное строение организмов — свидетельство того, что всё живое имеет единое происхождение.

Методы цитологии. Для изучения строения и жизнедеятельности клеток используют разные методы. Исторически первым методом цитологии стала *световая микроскопия*, основоположником которой считают Антони ван Левенгука. Световые (оптические) микроскопы широко применяют и в настоящее время, однако с их помощью невозможно изучать объекты, размер которых меньше длины световой волны.

Настоящую революцию в биологических исследованиях произвело появление *электронного микроскопа*, в котором вместо светового луча используют пучок электронов. Разрешающая способность такого микроскопа на несколько порядков выше, чем светового. С помощью электронных микроскопов можно увидеть клеточную мембрану (толщина 6—10 нм), рибосомы (диаметр около 20 нм), микротрубочки (толщина около 25 нм) и другие структуры.

Одним из видов электронного микроскопа является *сканирующий микроскоп*. В нём электронный луч не проходит сквозь образец, а отражается от него и преобразуется в изображение на телеэкране. Это позволяет получить трёхмерное изображение исследуемого объекта.

Для исследования химического состава клетки и определения локализации в ней конкретных химических веществ широко используют методы *цито-* и *гистохимии*. Эти методы основаны на избирательном окрашивании разных компонентов клетки.

Метод *дифференциального (разделительного) центрифугирования* позволяет выделять и изучать отдельные органоиды клетки. Разные компоненты клетки отличаются по массе и плотности, поэтому под действием центробежной силы они оседают на дно пробирки с разными скоростями. Это позволяет разделить с помощью центрифуги содержимое клетки на отдельные составляющие и затем детально изучать их химический состав и строение.

Метод *рентгеноструктурного анализа* даёт возможность определять пространственное строение и физические свойства молекул (например, ДНК, белков), входящих в состав клеточных структур.

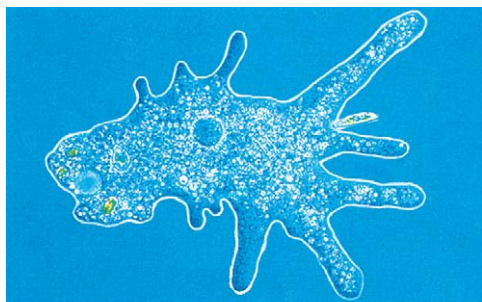
Для выявления локализации мест синтеза биополимеров, определения путей переноса веществ в клетке широко используют метод *авторадиографии* — регистрации веществ, меченных радиоактивными изотопами. Многие процессы, например деление клетки, фиксируют с помощью *кино-* и *фотосъёмки* через мощные световые микроскопы.

Для изучения деления клеток, их дифференцировки и специализации применяют метод *клеточных культур* — выращивают клетки в стерильных условиях на питательных средах.

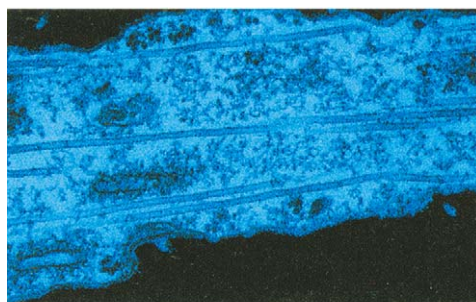
При исследовании живых клеток в настоящее время широко используют методы *микрохирургии*, с помощью которых вводят в клетку или удаляют из неё отдельные органоиды и ядро.

Вопросы для повторения и задания

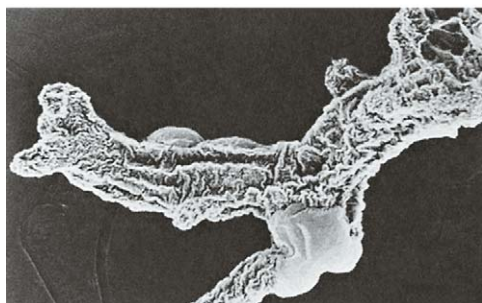
1. Расскажите об истории открытия клетки.
2. Кем и когда впервые была сформулирована клеточная теория?
3. Перечислите современные положения клеточной теории.
4. Охарактеризуйте значение клеточной теории для развития биологии.
5. Подумайте, для каких представителей органического мира понятия «клетка» и «организм» совпадают.
6. Раскройте более детально последнее положение клеточной теории (о сходном клеточном строении организмов).
7. Как вы думаете, почему яйцеклетка является самой крупной клеткой человеческого организма?
8. Рассмотрите рис. 7. Определите, какое изображение было получено при помощи световой микроскопии, какое — при помощи электронной, а какое — результат использования сканирующего микроскопа. Объясните свой выбор.



А



Б



В

Рис. 7. Амёба под микроскопом

Подумайте! Выполните!

1. Какое преимущество даёт клеточное строение живым организмам?
2. Какое из положений клеточной теории было установлено самым первым? Почему?
3. Почему оформление клеточной теории шло одновременно с развитием и усовершенствованием техники?
4. Назовите три основных открытия естествознания XIX в., которые определили формирование современной естественно-научной картины мира. Если бы вас попросили расширить этот список, какие ещё открытия XIX и XX вв. вы бы в него добавили? Объясните свой выбор.
5. Используя дополнительную литературу и ресурсы Интернета, подготовьте презентацию или красочный стенд на тему «Современное научное оборудование и его роль в решении биологических задач». С каким оборудованием вы уже познакомились при изучении курса «Человек и его здоровье»? Для каких целей его используют? Можно ли медицинское оборудование считать биологическим? Объясните свою точку зрения.

5. Химический состав клетки

Вспомните!

Что такое химический элемент?

Какие химические элементы преобладают в земной коре?

Что вам известно о роли таких химических элементов, как иод, кальций, железо, в жизнедеятельности организмов?

Одним из основных общих признаков живых организмов является единство их элементного химического состава. Независимо от того, к какому царству, типу или классу принадлежит то или иное живое существо, в состав его тела входят одни и те же так называемые универсальные химические элементы. Сходство в химическом составе разных клеток свидетельствует о единстве их происхождения.

В живой природе обнаружено около 90 химических элементов, т. е. большая часть всех известных на сегодняшний день. Никаких специальных элементов, характерных только для живых организмов, не существует, и это является одним из доказательств общности живой и неживой природы. Но количественное содержание тех или иных элементов в живых организмах и в окружающей их неживой среде существенно отличается. Например, кремния в почве

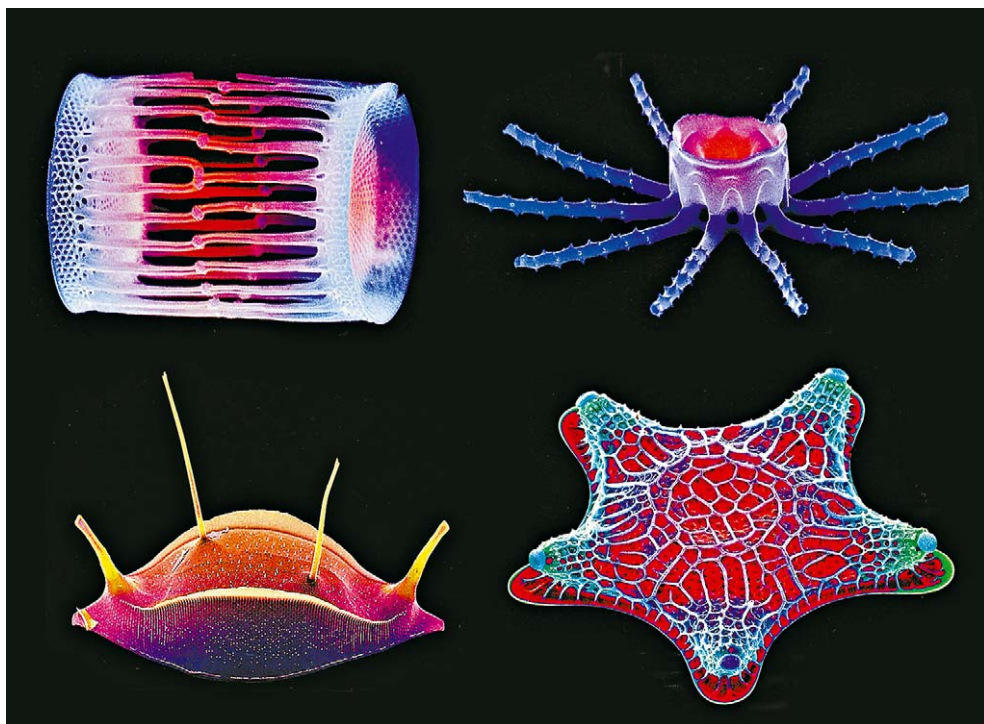


Рис. 8. Панцири одноклеточных диатомовых водорослей содержат большое количество кремния

около 33%, а в наземных растениях лишь 0,15%. Подобные различия указывают на способность живых организмов накапливать только те элементы, которые необходимы им для жизнедеятельности (рис. 8).

В зависимости от содержания все химические элементы, входящие в состав живой природы, разделяют на несколько групп.

Макроэлементы. I группа. Главными компонентами всех органических соединений, выполняющих биологические функции, являются кислород, углерод, водород и азот. Все углеводы и липиды содержат *водород, углерод и кислород*, а в состав белков и нуклеиновых кислот, кроме этих компонентов, входит *азот*. На долю этих четырёх элементов приходится 98% от массы живых клеток.

II группа. К группе макроэлементов относятся также фосфор, сера, калий, магний, натрий, кальций, железо, хлор. Эти химические элементы являются обязательными компонентами всех живых организмов. Содержание каждого из них в клетке составляет от десятых до сотых долей процента от общей массы.

Натрий, калий и хлор обеспечивают возникновение и проведение электрических импульсов в нервной ткани. Поддержание нормаль-

ного сердечного ритма зависит от концентрации в организме *натрия, калия и кальция*. *Железо* участвует в биосинтезе хлорофилла, входит в состав гемоглобина (белка-переносчика кислорода в крови) и миоглобина (белка, содержащего запас кислорода в мышцах). *Магний* в клетках растений входит в состав хлорофилла, а в животном организме участвует в формировании ферментов, необходимых для нормального функционирования мышечной, нервной и костной тканей. В состав белков часто входит *сера*, а все нуклеиновые кислоты содержат *фосфор*. Фосфор также является компонентом всех мембранных структур.

Среди обеих групп макроэлементов кислород, углерод, водород, азот, фосфор и сера объединяются в группу **биоэлементов**, или **органогенов**, на основании того, что они составляют основу большинства органических молекул (табл. 1).

Микроэлементы. Существует большая группа химических элементов, которые содержатся в организмах в очень низких концентрациях. Это алюминий, медь, марганец, цинк, молибден, кобальт, никель, иод, селен, бром, фтор, бор и многие другие. На долю каждого из них приходится не более тысячных долей процента, а общий вклад этих элементов в массу клетки — около 0,02%. В растения и микроорганизмы микроэлементы поступают из почвы и воды, а в организм животных — с пищей, водой и воздухом. Роль и функции элементов этой группы в различных организмах весьма разнообразны. Как правило, микроэлементы входят в состав биологически активных соединений (ферментов, витаминов и гормонов), и их действие проявляется главным образом в том, как они влияют на обмен веществ.

Кобальт входит в состав витамина B₁₂ и принимает участие в синтезе гемоглобина, его недостаток приводит к анемии. *Молибден* в составе ферментов участвует в фиксации азота у бактерий и обеспечи-

Таблица 1

Содержание биоэлементов в клетке

Элемент	Содержание в клетке, % от массы
Кислород (O)	65,0—75,0
Углерод (C)	15,0—18,0
Водород (H)	8,0—10,0
Азот (N)	1,5—3,0
Фосфор (P)	0,2—1,0
Сера (S)	0,15—0,2

валяет работу устьичного аппарата у растений. *Медь* является компонентом фермента, участвующего в синтезе меланина (пигмента кожи), влияет на рост и размножение растений, на процессы кроветворения у животных организмов. *Иод* у всех позвоночных животных входит в состав гормона щитовидной железы — тироксина. *Бор* влияет на ростовые процессы у растений, его недостаток приводит к отмиранию верхушечных почек, цветков и завязей. *Цинк* действует на рост животных и растений, а также входит в состав гормона поджелудочной железы — инсулина. Нехватка *селена* приводит к возникновению у человека и животных раковых заболеваний. Каждый элемент играет свою определённую, очень важную роль в обеспечении жизнедеятельности организма.

Как правило, биологический эффект того или иного микроэлемента зависит от присутствия в организме других элементов, т. е. каждый живой организм — это уникальная сбалансированная система, нормальная работа которой зависит, в том числе, и от правильного соотношения её компонентов на любом уровне организации. Так, например, *марганец* улучшает усвоение организмом *меди*, а *фтор* влияет на метаболизм *стронция*.

Обнаружено, что некоторые организмы интенсивно накапливают определённые элементы. Например, многие морские водоросли накапливают *иод*, хвощи — *кремний*, лютики — *литий*, а моллюски отличаются повышенным содержанием *меди*.

Микроэлементы широко используют в современном сельском хозяйстве в виде микроудобрений для повышения урожайности культур и в качестве добавок к кормам для увеличения продуктивности животных. Применяют микроэлементы и в медицине.

Ультрамикроэлементы. Существует группа химических элементов, которые содержатся в организмах в следовых, т. е. ничтожно малых, концентрациях. К ним относят золото, бериллий, серебро и другие элементы. Физиологическая роль этих компонентов в живых организмах пока окончательно не установлена.

Роль внешних факторов в формировании химического состава живой природы. Содержание тех или иных элементов в организме определяется не только особенностями данного организма, но также составом среды, в которой он обитает, и той пищей, которую он использует. Геологическая история нашей планеты, особенности почвообразовательных процессов привели к тому, что на поверхности Земли сформировались области, которые отличаются друг от друга по содержанию химических элементов. Резкий недостаток или, наоборот, избыток какого-либо химического элемента вызывает в пределах таких зон возникновение биогеохимических эндемий — заболеваний растений, животных и человека.

■ Почти 2 тыс. лет назад правитель одной из северо-восточных провинций Китая издал указ, в котором обязал всех своих подданных съедать по 2 кг морской капусты в год. С тех пор жители послушно соблюдают древний указ, и, несмотря на то, что в этом районе существует явный недостаток йода, население не страдает заболеваниями щитовидной железы.

Во многих районах нашей страны — на Урале и Алтае, в Приморье и в Ростовской области количество йода в почве и в воде значительно снижено.

Если человек не получает с пищей нужного количества йода, у него снижается синтез тироксина. Щитовидная железа, пытаясь компенсировать нехватку гормона, разрастается, что приводит к образованию так

называемого эндемического зоба. Особенно тяжёлые последствия от недостатка йода возникают у детей. Сниженное количество тироксина приводит к резкому отставанию в умственном и физическом развитии.

Чтобы предотвратить заболевания щитовидной железы, врачи рекомендуют подсаливать пищу специальной солью, обогащённой йодидом калия, употреблять рыбные блюда и морскую капусту. ■

Вопросы для повторения и задания

1. В чём заключается сходство биологических систем и объектов неживой природы?
2. Перечислите биоэлементы и объясните, каково их значение в образовании живой материи.
3. Что такое микроэлементы? Приведите примеры и охарактеризуйте биологическое значение этих элементов.
4. Как отразится на жизнедеятельности клетки и организма недостаток какого-либо микроэлемента? Приведите примеры таких явлений.
5. Расскажите об ультрамикроэлементах. Каково их содержание в организме? Что известно об их роли в живых организмах?
6. Приведите примеры известных вам биохимических эндемий. Объясните причины их происхождения.
7. Составьте схему, иллюстрирующую элементный химический состав живых организмов.

Подумайте! Выполните!

1. По какому принципу все химические элементы, входящие в состав живой природы, разделяют на макроэлементы, микроэлементы и ультрамикроэлементы? Предложите свою, альтернативную, классификацию химических элементов, основанную на другом принципе.

2. Иногда в учебниках и пособиях вместо словосочетания «элементный химический состав» можно встретить выражение «элементарный химический состав». Объясните, в чём некорректность такой формулировки.
3. Выясните, существуют ли какие-либо особенности химического состава воды в местности, где вы живёте (например, избыток железа или нехватка фтора и т. д.). Используя дополнительную литературу и ресурсы Интернета, определите, какое влияние это может оказать на организм человека.

Повторите и вспомните!

Растения

Удобрения. *Азот* необходим растениям для нормального формирования вегетативных органов. При дополнительном внесении в почву азотных и азотистых удобрений усиливается рост наземных побегов. *Фосфор* влияет на развитие и созревание плодов. *Калий* способствует оттоку органических веществ от листьев к корням, влияет на подготовку растения к зиме.

Все элементы в составе минеральных солей растения получают из почвы. Для того чтобы были высокие урожаи, необходимо поддерживать плодородие почвы, вносить удобрения. В современном сельском хозяйстве используют органические и минеральные удобрения, благодаря которым культурные растения получают необходимые элементы питания. Для экономии удобрений применяют различные технологии точного земледелия, например дифференцированное внесение.

Органические удобрения (навоз, торф, перегной, птичий помёт, биогумус, компост, сапропель и др.) содержат все необходимые растению питательные вещества. При внесении органических удобрений в почву попадают микроорганизмы, которые минерализуют органические остатки и тем самым повышают плодородие почвы. Навоз необходимо вносить задолго до посева семян, при осенней обработке почвы.

Минеральные удобрения обычно содержат те элементы, которых не хватает в почве: азот (натриевая и калиевая селитры, хлористый аммоний, мочевины и др.), калий (хлористый калий, сульфат калия), фосфор (суперфосфаты, фосфоритная мука и пр.). Удобрения, содержащие азот, обычно вносят весной или в начале лета, так как они быстро вымываются из почвы. Калийные и фосфорные удобрения сохраняются дольше, поэтому их вносят осенью. Излишек удобрений столь же вреден для растений, как и их недостаток.

6. Неорганические вещества клетки

Вспомните!

Что такое неорганические вещества?

Какими физическими и химическими свойствами обладает вода?

Что называют ионами, анионами и катионами?

Значительная часть соединений, входящих в состав клетки, встречается в больших количествах только в живой природе. Это органические вещества. Однако есть соединение, которое одинаково характерно как для живой, так и для неживой природы. Это вода (рис. 9).

Вода. Считается, что миллиарды лет тому назад в первичном океане на нашей планете зародилась жизнь и вся дальнейшая эволюция природы была неразрывно связана с водой. Уникальные свойства этой относительно небольшой молекулы позволили нашей планете стать такой, какая она есть сейчас. Все жители Земли, растения и животные, грибы и бактерии, обязаны воде жизнью. В чём же заключается особенность этого вещества?

Молекула воды — это *диполь*, т. е. на одной стороне молекулы сосредоточен частичный положительный заряд, а на другом конце — частичный отрицательный (рис. 10). Именно эта особенность строения молекулы воды определяет её свойство **универсального растворителя**. Любые вещества, имеющие заряженные группы, растворяются в воде (рис. 11). Такие соединения называют *гидрофильными* (от греч. *hydros* — вода и *phileo* — люблю). Большинство веществ, присутствующих в клетке, относится к этой группе, например соли, аминокислоты, сахара, белки, простые спирты. Когда вещество переходит в раствор, его реакционная способность увеличивается. Однако есть соединения, которые в воде растворяются очень плохо или вообще не растворяются. Такие вещества называют *гидрофобными* (от греч. *hydros* — вода и *phobos* — страх), к ним относятся, в частности, жиры (липиды), жироподобные вещества (липиды), полисахариды и некоторые белки.

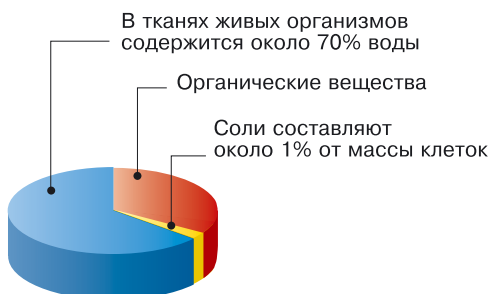


Рис. 9. Вещества, входящие в состав живых организмов



Рис. 10. Диполь. Схематичное изображение молекулы воды

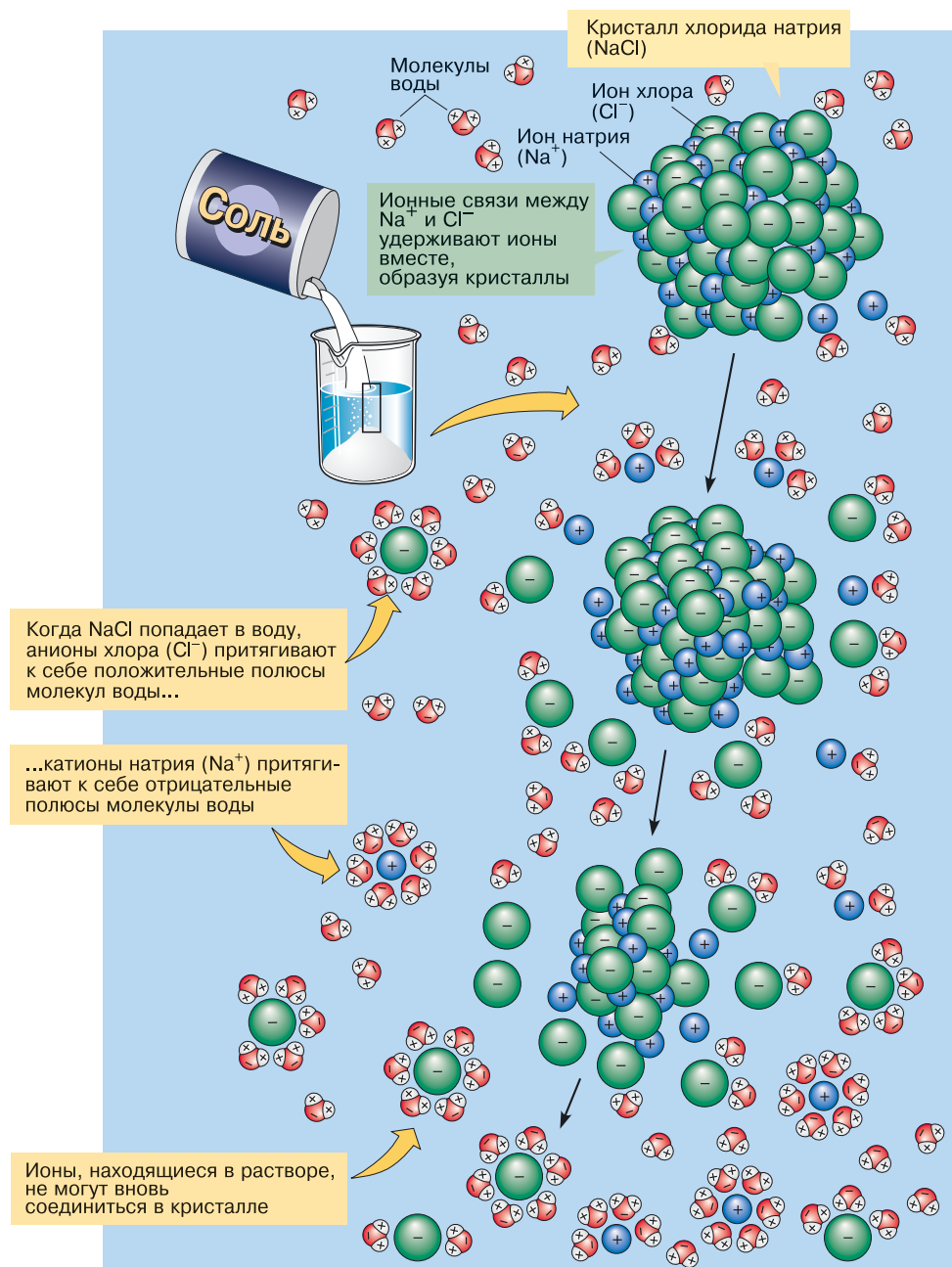


Рис. 11. Растворение в воде хлорида натрия

Большинство процессов, которые протекают внутри клетки, могут осуществляться только в водной среде. Но вода не только обеспечивает условия химических реакций, она сама *участвует во мно-*

гих метаболических процессах. В реакциях гидролиза¹ белки расщепляются до аминокислот, а крахмал — до глюкозы. Высвобождение энергии в организме происходит при взаимодействии с водой главной энергетической молекулы — АТФ. Вода участвует в реакциях фотосинтеза и в синтезе АТФ в митохондриях.

Отрицательные и положительные полюсы разных молекул воды притягиваются друг к другу, что приводит к образованию водородных связей. Наличие этих связей придаёт воде структурированность, что объясняет многие её необычные свойства: высокую температуру кипения, плавления, высокую теплоёмкость.

Сочетание **высокой теплоёмкости** и **теплопроводности** делает воду идеальной жидкостью для поддержания теплового равновесия. Тепло быстро и равномерно распределяется между всеми частями организма.

Высокая интенсивность испарения приводит к быстрой потере тепла и предохраняет от перегрева: испарение у растений и потоотделение у животных являются защитными реакциями и позволяют при минимальной потере воды существенно снизить температуру тела.

Практически полная **несжимаемость** воды обеспечивает поддержание формы клетки (рис. 12), а **вязкость** придаёт воде свойства смазки.

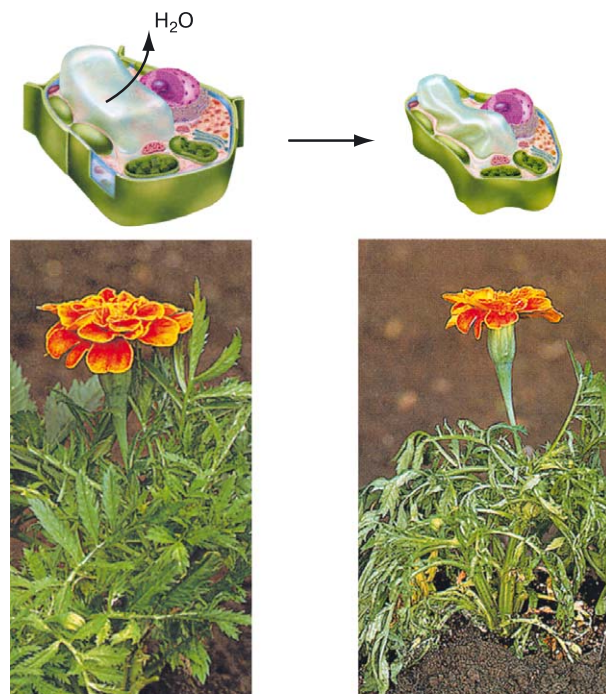


Рис. 12. Уменьшение количества воды в клетках приводит к увяданию растений

¹ Гидролиз — реакции ионного обмена между различными веществами и водой.

Высокая сила поверхностного натяжения воды обеспечивает восходящий и нисходящий транспорт веществ в растениях и движение крови в капиллярах. Многие мелкие организмы легко удерживаются и передвигаются по поверхности воды благодаря наличию плёнки поверхностного натяжения. ■

Соли. Важную роль в жизнедеятельности клетки играют минеральные соли, представленные в основном катионами калия (K^+), натрия (Na^+), кальция (Ca^{2+}), магния (Mg^{2+}) и анионами соляной (Cl^-), угольной (HCO_3^-), фосфорной (HPO_4^{2-} , $H_2PO_4^-$) и некоторых других кислот. Многие ионы неравномерно распределены между клеткой и окружающей средой, так, например, в цитоплазме концентрация ионов калия в 20—30 раз выше, чем снаружи, а концентрация ионов натрия внутри клетки, наоборот, в 10 раз ниже. Именно благодаря существованию подобных градиентов концентраций осуществляются многие важные процессы жизнедеятельности, такие как возбуждение нервных клеток, сокращение мышечных волокон. После гибели клетки концентрация катионов снаружи и внутри быстро выравнивается.

Анионы слабых кислот (HCO_3^- , HPO_4^{2-}) участвуют в поддержании кислотно-щелочного баланса (pH) клетки. Анионы фосфорной кислоты необходимы для синтеза нуклеотидов и нуклеиновых кислот.

Минеральные соли в живых организмах находятся не только в виде ионов, но и в твёрдом состоянии. Кости нашего скелета в основном состоят из фосфатов кальция и магния. Раковины моллюсков формируются из карбоната кальция.

■ Полость тела круглых червей заполнена жидкостью, находящейся под давлением и образующей гидроскелет, что придаёт этим организмам постоянную форму. Свойство несжимаемости воды используется медузами, чьё тело на 95% состоит из этого вещества.

Жидкость в подчерепном пространстве предохраняет от сотрясения головной мозг, а околоплодные воды в матке защищают и поддерживают плод у млекопитающих.

Жидкость в околосердечной сумке — перикарде — облегчает движения сердца при его сокращениях, а в плевральной полости снижает трение при дыхании.

Благодаря высокому тургорному давлению растительные ткани обладают упругостью, а стебли травянистых растений поддерживают вертикальное положение.

Вопросы для повторения и задания

1. Каковы особенности пространственной организации молекул воды, обуславливающие её биологическое значение?
2. В чём заключается биологическая роль воды?

3. Какие вещества называют гидрофильными; гидрофобными? Приведите примеры.
4. Какие вещества поддерживают pH клетки на постоянном уровне? Объясните, почему жизнедеятельность клетки возможна только при определённом значении pH.
5. Расскажите о роли минеральных солей в жизнедеятельности клетки.

Подумайте! Выполните!

1. Почему при работе в горячих цехах для утоления жажды рекомендуют пить минеральную или подсоленную воду?
2. Известно, что ионный состав внутреннего содержимого клетки имеет большое сходство с ионным составом морской воды. Какой вывод можно из этого сделать?
3. Как изменяется количество воды в теле человека с возрастом?
4. Вспомните из курса биологии растений, какие структуры покровной ткани растений обеспечивают испарение воды. Каков принцип их работы?
5. Выполните исследовательскую работу «Изучение процесса осмоса в растительных клетках». Исследуйте влияние гипо- и гипертонических растворов на мембрану типичной вакуолизированной растительной клетки.

Повторите и вспомните!

Растения

Поглощение корнями воды и минеральных веществ. Большая часть воды с растворёнными в ней минеральными веществами поглощается корнем с помощью корневых волосков в зоне всасывания. Всасывание воды происходит пассивно, посредством осмоса, так как концентрация осмотически активных веществ (минеральных солей и органических веществ) в клетках корня больше, чем в почвенном растворе. Интенсивность поглощения воды корневыми волосками называют сосущей силой (S). Она равна разнице между осмотическим (P) и тургорным (T) давлением: $S = P - T$. Когда осмотическое давление равно тургорному ($P = T$), то $S = 0$ и вода перестаёт поступать в корневой волосок. Если же концентрация веществ в почвенном растворе будет выше, чем внутри клеток корня, то вода будет выходить из клеток и растение завянет (см. рис. 12). Такое явление наблюдается при засухе или при умеренном внесении удобрения в почву.

Животные

Первично- и вторичноводные животные. Кроме систематического деления на классы, подтип Позвоночные обычно условно подразделяют ещё на две группы, не имеющие таксономического значения: первичноводные (анамнии) и первичноназемные (амниоты). Жизнь и размножение животных, относящихся к анамниям, неразрывно связаны с водой. В качестве органов дыхания у них в течение всей жизни или на личиночной стадии функционируют жабры. При развитии оплодотворённой яйцеклетки не образуются защитные зародышевые оболочки. К этой группе относят классы Круглоротые, Хрящевые рыбы, Костные рыбы, Земноводные.

Размножение первичноназемных животных не связано с водой. Жаберного дыхания нет ни на одной из жизненных стадий. При развитии зародыша формируются зародышевые оболочки. К группе амниот относят классы Пресмыкающиеся, Птицы, Млекопитающие.

Вторичноводными называют амниот, которые вернулись к обитанию в воде. Такими животными, например, являются китообразные, которые полностью перешли к водному образу жизни. Их передние конечности превратились в ласты, задние — редуцированы.

Человек

Водный и минеральный обмены. Ткани взрослого человека содержат в среднем до 60% воды. В сутки организм человека теряет около 2,0—2,5 л воды. В составе мочи выводится 1,2—1,5 л, с потом — около 0,5—0,7 л, с парами воздуха через лёгкие — 0,3—0,5 л, через кишечник с калом — около 0,1 л. Столько же воды в сумме организм получает с питьём (1,0 л) и пищей (1,0 л), а часть воды образуется при обмене белков, жиров, углеводов (0,3—0,4 л). Для нормальной жизнедеятельности важно, чтобы поступление воды полностью покрывало её расход. Отношение количества потреблённой воды к количеству выделенной называют *водным балансом*. Обезвоживание организма приводит к быстрой гибели, без воды человек может прожить не более 5—6 дней. Однако обильное избыточное питьё тоже вредно, оно повышает нагрузку на организм и нарушает работу сердца и почек.

Минеральные соли поступают в организм человека с пищей и водой. И хотя они составляют не более 4% от массы тела, набор их очень разнообразен. В сутки в организм человека должно поступать не менее 4,4 г натрия, 5 г хлора, 2 г калия, 1 г кальция, 1 г фосфора, 0,2 г железа. Из различных минеральных солей специаль-

но в пищу мы добавляем только поваренную соль (NaCl), общая суточная потребность NaCl в организме около 10 г. Все остальные минеральные соли содержатся в натуральных продуктах. Вода и растворённые в ней минеральные соли всасываются по всему желудочно-кишечному тракту, но больше всего в тонком кишечнике.

7. Органические вещества. Общая характеристика. Липиды

Вспомните!

В чём особенность строения атома углерода?

Какую связь называют ковалентной?

Какие вещества называют органическими?

Какие продукты питания содержат большое количество жира?

Общая характеристика органических веществ. Среди всех химических элементов есть один, который наиболее тесно связан с живыми организмами. Это углерод. Известно уже около 27 млн различных молекул, построенных на его основе. Наиболее интересна уникальная способность атомов углерода вступать в ковалентную связь друг с другом, образуя длинные цепи, сложные кольца и иные структуры. *Органические вещества — это сложные углеродсодержащие соединения.* Прежде считали, что только живые организмы способны их синтезировать. Однако сейчас путём химического синтеза уже получено огромное число различных органических соединений.

Простейшие углеродные соединения — это углеводороды, молекулы которых состоят из атомов только углерода и водорода. Самый простой углеводород — метан. В ранний период истории Земли метан входил в состав её первичной атмосферы. Возможно, именно он и положил начало бесчисленному разнообразию углеродсодержащих соединений, которые возникали по мере развития жизни и которые сейчас являются основой жизни.

В современных живых организмах углеводороды встречаются нечасто.

Сорок атомов углерода входит в состав углеводорода каротина — оранжево-жёлтого пигмента. Богаты каротином плоды шиповника и смородины, морковь и томаты, яичный желток. Очень важен для полноценного питания животных и человека β -каротин — провитамин А, который в организме превращается в витамин А. ■

Однако подавляющее большинство органических соединений устроено гораздо более сложно, нежели углеводороды.

Органические вещества живой природы чрезвычайно разнообразны по своим размерам, строению и функциям. Поэтому создать единую классификацию, которая учитывала бы все характерные особенности каждого соединения, практически невозможно. Наиболее распространено

деление всех органических соединений на **низкомолекулярные** (аминокислоты, липиды, органические кислоты и др.) и **высокомолекулярные**, или **биополимеры**. Полимеры — это молекулы, состоящие из повторяющихся структурных единиц — **мономеров**. В свою очередь, все биополимеры подразделяют на две группы: **гомополимеры**, построенные из мономеров одного типа (например, гликоген, крахмал и целлюлоза состоят из молекул глюкозы), и **гетерополимеры**, в состав которых входят отличающиеся друг от друга мономеры (например, белки состоят из 20 типов аминокислот, а нуклеиновые кислоты — из 8 типов нуклеотидов: ДНК — из 4 типов, РНК — из 4 типов (см. § 8, 9)).

Рассмотрим наиболее важные группы органических соединений, которые определяют основные свойства клеток и организмов (рис. 13).

Липиды. Среди низкомолекулярных органических соединений, входящих в состав живых организмов, важную роль играют липиды, к которым относят жиры, воски и разнообразные жироподобные вещества. Это **гидрофобные** соединения, нерастворимые в воде. Обычно общее содержание липидов в клетке колеблется в пределах 5—15% от массы сухого вещества. Однако в клетках подкожной жировой клетчатки их количество возрастает до 90%.

Широко распространены в природе **нейтральные жиры**, которые представляют собой соединения высокомолекулярных жирных кислот и трёхатомного спирта

■ Некоторые млекопитающие способны избирательно накапливать провитамин А в жировой клетчатке и молоке. При недостатке витамина А снижается сопротивляемость к инфекционным заболеваниям, страдает репродуктивная функция, возникают проблемы с кожей и развивается так называемая куриная слепота — нарушается сумеречное зрение.

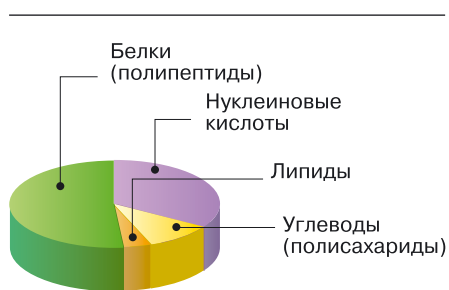
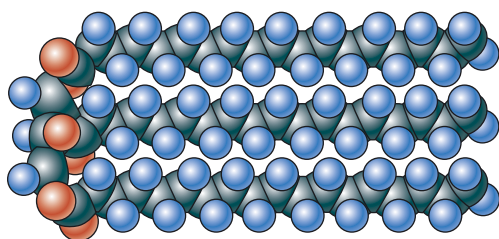


Рис. 13. Основные группы органических веществ (доли от общей массы сухого вещества)



А



Рис. 14. Модель (А) и схема строения (Б) молекулы нейтрального жира

глицерина (рис. 14). В цитоплазме клеток нейтральные жиры откладываются в виде жировых капель.

Жиры являются *источником энергии*. При окислении 1 г жира до углекислого газа и воды выделяется 38,9 кДж энергии (при окислении 1 г глюкозы — всего 17,6 кДж).

Жиры служат *источником метаболической воды*, из 1 г жира образуется 1,1 г воды. Используя свои жировые запасы, верблюды или впадающие в зимнюю спячку суслики могут обходиться без воды длительное время.

Жиры в основном откладываются в клетках жировой ткани. Эта ткань служит энергетическим депо организма, предохраняет его от потери тепла и выполняет *защитную функцию*. В полости тела между внутренними органами у позвоночных животных формируются упругие жировые прокладки, которые защищают органы от повреждений, а подкожная жировая клетчатка создаёт *теплоизоляционный слой*.

Воски — пластичные вещества, обладающие водоотталкивающими свойствами. У насекомых они служат материалом для постройки сот. Восковой налёт на поверхности листьев, стеблей, плодов защищает растения от механических повреждений, ультрафиолетового излучения и играет важную роль в регуляции водного баланса.

Не менее важное значение в организме имеют **жироподобные вещества**.

Представители этой группы — фосфолипиды — формируют основу всех биологических мембран. По своей структуре фосфолипиды сходны с жирами, но в их молекуле один или два остатка жирных кислот замещены остатком фосфорной кислоты.

Важную роль в жизнедеятельности всех живых организмов, особенно животных, играет жироподобное вещество — холестерин. В корковом слое надпочечников, в половых железах и в плаценте из него образуются стероидные гормоны (кортикостероиды и половые гормоны). В клетках печени из холестерина синтезируются желчные кислоты, необходимые для нормального переваривания жиров. ■

К жироподобным веществам относят также жирорастворимые витамины А, D, Е, К, обладающие высокой биологической активностью.

■ При неправильном питании, если рацион человека чрезмерно богат жирами, содержание холестерина в крови резко возрастает. Это может привести к образованию на стенках кровеносных сосудов холестериновых бляшек, которые сужают и даже полностью перекрывают просвет сосудов, тем самым нарушая кровоснабжение органов и тканей. Развивается заболевание — атеросклероз.

Вопросы для повторения и задания

1. Какие органические вещества входят в состав клетки?
2. Что такое липиды? Опишите их химический состав.
3. Какова роль липидов в обеспечении жизнедеятельности организма?
4. В чём заключается биологическое значение жироподобных веществ?
5. Вспомните из курса «Человек и его здоровье» функции витаминов; симптомы их недостаточности.
6. Составьте схемы-классификации органических веществ. На основе каких критериев созданы ваши схемы?

Подумайте! Выполните!

1. Какие вы знаете биологически активные вещества в организме человека, относящиеся к группе липидов? Каковы их функции?
2. Объясните, как восковой слой на поверхности листьев участвует в регуляции водного баланса растений.
3. В организме может существовать запас витаминов. Подумайте, какие витамины — жирорастворимые или водорастворимые — могут депонироваться в тканях. Объясните свою точку зрения.

Повторите и вспомните!

Человек

Обмен липидов. В организм человека липиды поступают с разнообразной животной и растительной пищей. Продукты расщепления жиров (глицерин и жирные кислоты) поглощаются эпителием тонкого кишечника и превращаются в его клетках в жировые вещества, характерные для данного организма. Эти вещества поступают в лимфатические сосуды, которые находятся в кишечных ворсинках. Потребность в липидах (жирах) определяется общей интенсивностью процессов энергетического и пластического обмена, составляя в среднем 80—100 г в сутки. Избыток липидов откладывается в подкожной жировой клетчатке и стенках внутренних органов. В результате образуются депо, способные покрывать наши затраты энергии в течение многих суток. Как и углеводы, липиды с участием кислорода распадаются до CO_2 и H_2O .

Наибольшую ценность имеют липиды растительного происхождения. Молекулы, подобные растительным липидам, наш организм не способен синтезировать самостоятельно. Следовательно, они относятся к разряду незаменимых компонентов питания. Важно, чтобы доля растительных липидов (подсолнечное, оливковое, кукурузное, соевое масло) в пище была не ниже 30—40%. При их дефиците страдают в первую очередь органы и ткани, где происходит интенсивное образование новых клеток (кожа, слизистые, красный костный мозг).

Избыток гликогена, хранящегося в печени, может превращаться в жиры. В результате чрезмерное поступление углеводов и липидов с пищей приводит к накоплению жировых запасов, росту массы тела, увеличению риска многих заболеваний. Противоположный процесс — практически полное исчезновение жировой ткани может происходить при недостаточном питании, при нарушениях метаболизма (например, диабет или увеличение щитовидной железы), при онкологических или хронических инфекционных заболеваниях.

Жирорастворимые витамины. Жирорастворимые витамины необходимы для нормального функционирования организма. *Витамин А* (ретинол) выполняет в организме две группы функций. Первая связана со зрением, вторая — с общим состоянием клеточных мембран. Ретинол входит в состав родопсина — вещества, обеспечивающего работу части рецепторов глаза (палочек; чёрно-белое зрение). Информация от палочек особенно важна для нас в сумерках, когда рецепторы цветового зрения не работают. Следова-

но, первым признаком дефицита витамина А является ухудшение сумеречного зрения («куриная слепота»).

Кроме этого, ретинол обнаруживается практически во всех клеточных мембранах. Совместно с липидами растительного происхождения он обеспечивает их гибкость и эластичность. Недостаток ретинола приводит к шелушению кожи, помутнению роговицы глаз, быстрому ухудшению состояния слизистых и красного костного мозга.

Суточная потребность в ретиноле составляет у человека около 1 мг. Источником витамина А служат сливочное масло, молоко, желтки яиц. Больше всего ретинола в печени — около 4 мг на 100 г. Витамин А может образовываться в нашем организме из каротина — оранжевого пигмента растений. При этом в ретинол превращается примерно треть каротина. Каротина много в красных овощах (томаты, перец); «рекордсменом» является морковь — около 9 мг на 100 г.

Витамин D (кальциферол) регулирует обмен кальция и фосфора и необходим для нормального развития костной ткани. Суточная доза витамина D для детей выше, чем для взрослых, и составляет 10—25 мг. При недостатке кальциферола в детском возрасте развивается *рахит*: кости конечностей искривляются, снижается тонус мышц, организм становится менее устойчив к инфекционным заболеваниям. Витамин D содержится в рыбьем жире, печени, яичном желтке. Это один из немногих витаминов, который может синтезироваться в организме человека. Он образуется в коже под действием ультрафиолетовых лучей солнечного спектра. Для предупреждения и лечения рахита детей не только кормят продуктами, богатыми витамином D, но и облучают специальной кварцевой лампой.

Витамин К (филлохинон) участвует в образовании протромбина, без которого невозможно свёртывание крови, и играет важную роль в формировании и восстановлении костей, обеспечивая синтез белка костной ткани. Витамин К доставляется в организм с пищей и частично образуется микрофлорой толстого кишечника. Витамином К богаты многие продукты: говяжья печень, цветная капуста, кабачки, салат. Суточная потребность в витамине К взрослых людей невелика, ориентировочно она составляет меньше 1 миллиграмма.

Витамин Е (токоферол) входит в состав клеточных мембран и защищает их от окисления. Основные источники витамина Е — это зёрна злаков, растительные масла, яйца, салат-латук, печень. Суточная потребность в токофероле — 10—15 мг. Витамин Е нетоксичен, однако его избыточное содержание повышает кровяное давление.

8. Органические вещества. Углеводы. Белки

Вспомните!

Какие вещества называют биологическими полимерами?

Каково значение углеводов в природе?

Назовите известные вам белки. Какие функции они выполняют?

Углеводы (сахара). Это обширная группа природных органических соединений. В животных клетках углеводы составляют не более 5% сухой массы, а в некоторых растительных (например, клубни картофеля) их содержание достигает 90% сухого остатка. Углеводы подразделяют на три основных класса: моносахариды, дисахариды и полисахариды.

Моносахариды рибоза и дезоксирибоза входят в состав нуклеиновых кислот (рис. 15). **Глюкоза** присутствует в клетках всех организмов и является одним из основных источников энергии для животных. Широко распространена в природе **фруктоза** — фруктовый сахар, который значительно слаще других сахаров. Этот моносахарид придаёт сладкий вкус плодам растений и мёду.

Если в одной молекуле объединяются два моносахарида, такое соединение называют **дисахаридом**. Самый распространённый в природе дисахарид — **сахароза**, или тростниковый сахар, состоит из глюкозы и фруктозы (рис. 16). Её получают из сахарного тростника или сахарной свёклы. Именно она и есть тот самый сахар, который мы покупаем в магазине.

Сложные углеводы — **полисахариды**, состоящие из простых сахаров, выполня-

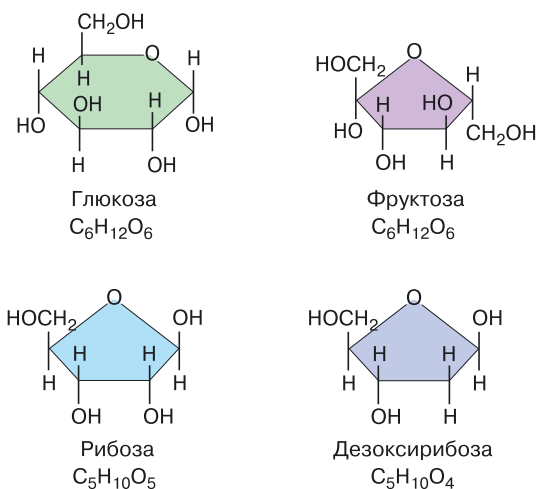


Рис. 15. Структурные формулы моносахаридов

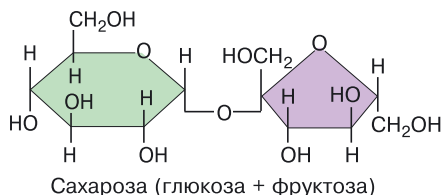


Рис. 16. Структурная формула сахарозы (дисахарида)

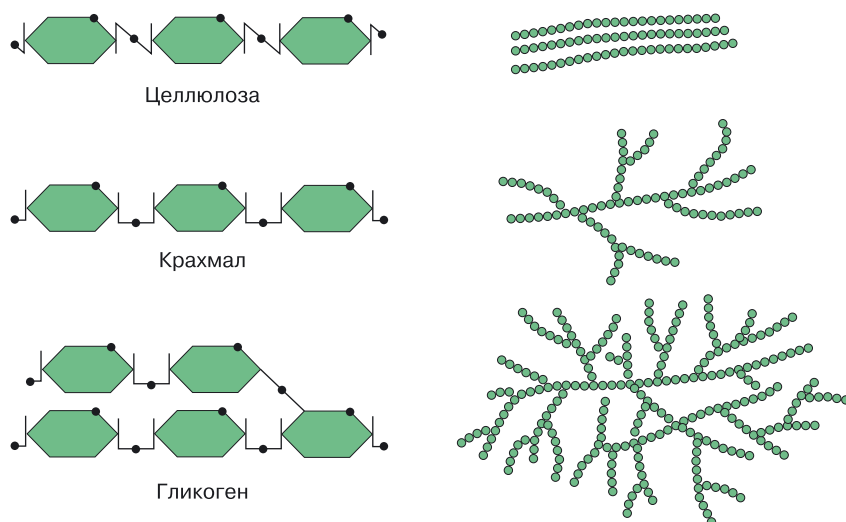


Рис. 17. Строение полисахаридов

ют в организме несколько важных функций (рис. 17). *Крахмал* для растений и *гликоген* для животных и грибов являются резервом питательных веществ и энергии. ■

Целлюлоза и *хитин* выполняют в организмах структурную и защитную функции. Целлюлоза, или клетчатка, образует стенки растительных клеток. По общей массе она занимает первое место на Земле среди всех органических соединений. По своему строению очень близок к целлюлозе хитин, который составляет основу наружного скелета членистоногих и входит в состав клеточной стенки грибов.

Белки (полипептиды). Одними из наиболее важных органических соединений в живой природе являются белки. В каждой живой клетке присутствует одновременно более тысячи видов белковых молекул. И у каждого белка своя особая, только ему свойственная функция. О первостепенной роли этих сложных веществ догадывались ещё в начале XX в., именно поэтому им дали название *протеины* (от греч. *protos* — первый). В различных клетках на долю белков приходится от 50 до 80% сухой массы.

Строение белков. Длинные белковые цепи построены всего

■ Крахмал запасается в растительных клетках в виде так называемых крахмальных зёрен. Больше всего его откладывается в клубнях картофеля и в семенах бобовых и злаков. Гликоген у позвоночных содержится главным образом в клетках печени и мышцах. Крахмал, гликоген и целлюлоза построены из молекул глюкозы.

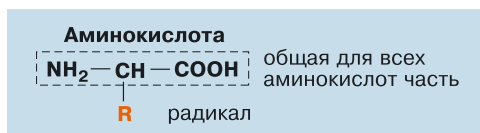


Рис. 18. Общая структурная формула аминокислот, входящих в состав белков

из 20 различных типов аминокислот, имеющих общий план строения, но отличающихся друг от друга по строению радикала (R) (рис. 18). Соединяясь, молекулы аминокислот образуют так называемые пептидные связи (рис. 19).

Две полипептидные цепи, из которых состоит гормон поджелудочной железы — инсулин, содержат 21 и 30 аминокислотных остатков. Это одни из самых коротких «слов» в белковом «языке». Миоглобин — белок, связывающий кислород в мышечной ткани, состоит из 153 аминокислот. Белок коллаген, составляющий основу коллагеновых волокон соединительной ткани и обеспечивающий её прочность, состоит из трёх полипептидных цепей, каждая из которых содержит около 1000 аминокислотных остатков.

Последовательное расположение аминокислотных остатков, соединённых пептидными связями, является *первичной структурой* белка и представляет собой линейную молекулу (рис. 20). Закручиваясь в виде спирали, белковая нить приобретает более высокий уровень организации — *вторичную структуру*. И наконец, спираль полипептида сворачивается, образуя клубок (глобулу). Именно такая *третичная структура* белка и является его биологически активной формой, обладающей индивидуальной специфичностью. Однако для ряда белков третичная структура не является окончательной.

Может существовать *четвертичная структура* — объединение нескольких белковых глобул в единый рабочий комплекс. Так, например, сложная молекула гемоглобина состоит из четырёх полипептидов, и только в таком виде она может выполнять свою функцию.

Функции белков. Огромное разнообразие белковых молекул подразумевает столь же широкое разнообразие их функций (рис. 21, 22). Около 10 тыс. белков-*ферментов* служат катализаторами химических реакций. Они обеспечивают слаженную работу биохимиче-

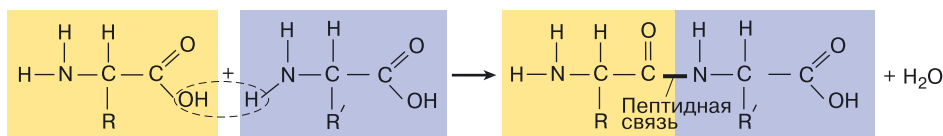


Рис. 19. Образование пептидной связи между двумя аминокислотами

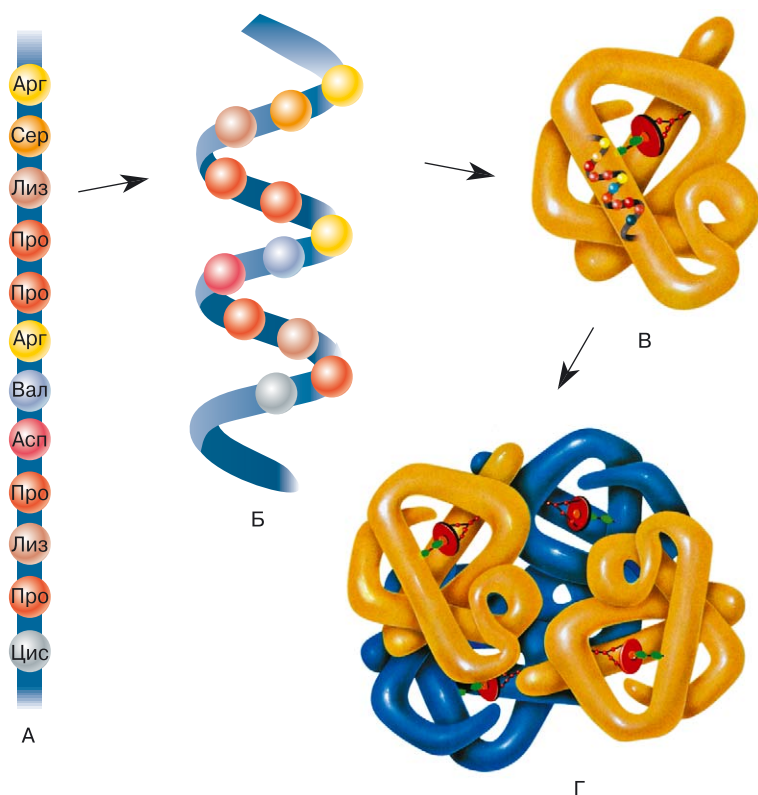


Рис. 20. Строение белковой молекулы:

А — первичная; Б — вторичная; В — третичная; Г — четвертичная структуры

ского ансамбля клеток живых организмов, увеличивая во много раз скорость химических реакций.

Вторая по величине группа белков выполняет *структурную* и *двигательную* функции. Белки участвуют в образовании всех мембран и органоидов клетки. Коллаген входит в состав межклеточного вещества соединительной и костной ткани, а основным компонентом волос, рогов и перьев, ногтей и копыт является белок кератин. Сократительную функцию мышц обеспечивают актин и миозин.

Транспортные белки связывают и переносят различные вещества и внутри клетки, и по всему организму.

Белки-гормоны обеспечивают регуляторную функцию. ■

■ Например, соматотропный гормон, вырабатываемый гипофизом, регулирует общий обмен веществ и влияет на рост. Недостаток или избыток этого гормона в детском возрасте приводит соответственно к развитию карликовости или гигантизма.

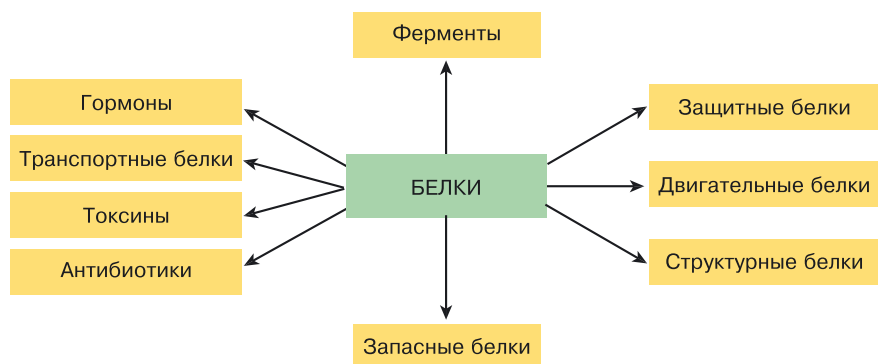


Рис. 21. Основные группы белков

Чрезвычайно важна *защитная* функция белков. При попадании в организм человека чужеродных белков, вирусов или бактерий на защиту встают иммуноглобулины — защитные белки. Фибриноген и протромбин обеспечивают свёртываемость крови, предохраняя организм от кровопотери. Есть у белков и защитная функция несколько иного рода. Многие членистоногие, рыбы, змеи и другие животные выделяют токсины — сильные яды белковой природы. Белками являются и самые сильные микробные токсины, например ботулиновый, дифтерийный, холерный.

При нехватке пищи в организме животных начинается активный распад белков до конечных продуктов, и тем самым реализуется *энергетическая* функция этих полимеров. При полном расщеплении 1 г белка выделяется 17,6 кДж энергии.

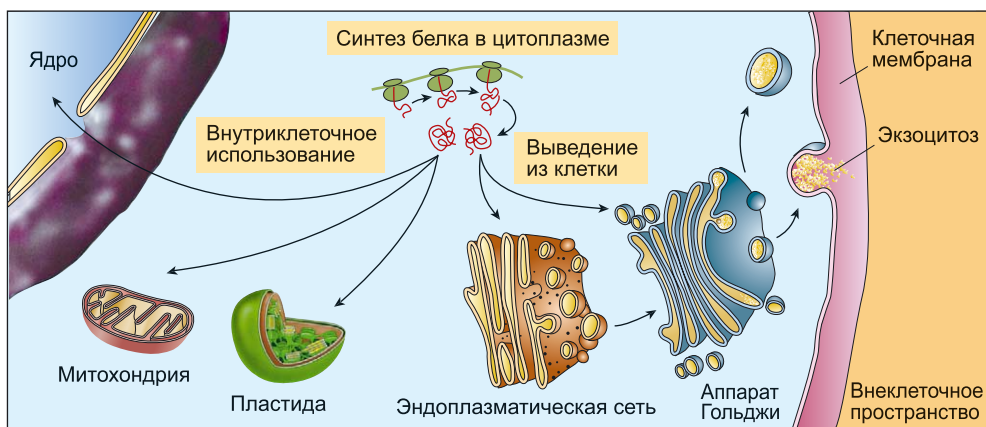


Рис. 22. Синтезированные белки или остаются в клетке для внутриклеточного применения, или выводятся наружу для использования на уровне организма

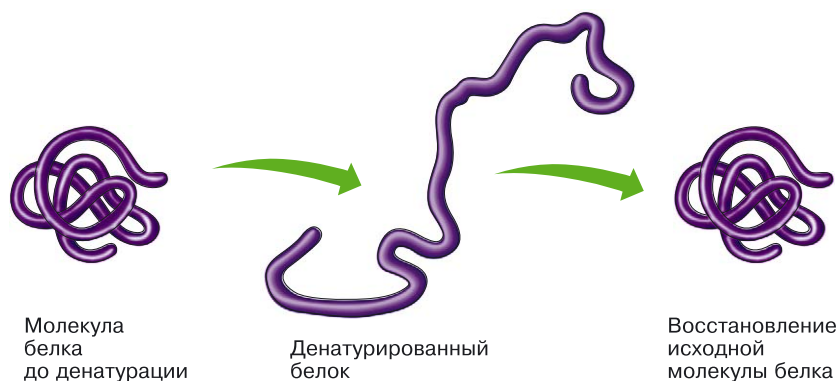


Рис. 23. Денатурация белка

Денатурация и ренатурация белков. Денатурация — это утрата белковой молекулой своей структурной организации: четвертичной, третичной, вторичной, а при более жёстких условиях — и первичной структуры (рис. 23). В результате денатурации белок теряет способность выполнять свою функцию. Причинами денатурации могут быть высокая температура, ультрафиолетовое излучение, действие сильных кислот и щелочей, тяжёлых металлов и органических растворителей. ■

Денатурация может быть обратимой и необратимой, частичной и полной. Иногда, если воздействие денатурирующих факторов оказалось не слишком сильным и разрушение первичной структуры молекулы не произошло, при наступлении благоприятных условий денатурированный белок может вновь восстановить свою трёхмерную форму. Этот процесс называют *ренатурацией*, и он убедительно доказывает зависимость третичной структуры белка от последовательности аминокислотных остатков, т. е. от его первичной структуры.

■ Дезинфицирующее свойство этилового спирта основано на его способности вызывать денатурацию бактериальных белков, что приводит к гибели микроорганизмов.

Вопросы для повторения и задания

1. Какие химические соединения называют углеводами?
2. Что такое моно- и дисахариды? Приведите примеры.
3. Какой простой углевод служит мономером крахмала, гликогена, целлюлозы?
4. Из каких органических соединений состоят белки?
5. Как образуются вторичная и третичная структуры белка?

6. Назовите известные вам функции белков. Чем вы можете объяснить существующее многообразие функций белков?
7. Что такое денатурация белка? Что может явиться причиной денатурации?

Подумайте! Выполните!

1. Используя знания, полученные при изучении биологии растений, объясните, почему в растительных организмах углеводов значительно больше, чем в животных.
2. К каким заболеваниям может привести нарушение превращения углеводов в организме человека?
3. Известно, что, если в рационе отсутствует белок, даже несмотря на достаточную калорийность пищи, у животных останавливается рост, изменяется состав крови и возникают другие патологические явления. Какова причина подобных нарушений?
4. Объясните трудности, возникающие при пересадке органов, опираясь на знания специфичности белковых молекул в каждом организме.
5. Оцените содержание белков, жиров и углеводов в продуктах питания (на основании данных, представленных на этикетках товаров).

Узнайте больше

Протеомика. Всю совокупность белков клетки, ткани или организма называют *протеомом*. Этот термин предложил в 1994 г. австралийский генетик Марк Уилкинс. Протеом клетки — это совокупность белков, найденных в определённой клетке при конкретных внешних условиях, например под действием определённых гормонов. Полный протеом организма складывается из протеомов всех клеток. Термин «протеом» используют также и для обозначения набора белков вирусов (вирусный протеом). В последние годы даже выделилась новая биологическая наука, названная протеомикой. *Протеомика* — это наука, которая изучает структуру белков, их функции, расположение в клетке и взаимодействие.

Протеом определяется не только последовательностью аминокислот в белках, но и пространственными характеристиками всех белков (вторичной и третичной структурой), а также взаимодействием разных белков друг с другом. Для изучения человеческого протеома в 2001 г. была создана международная Организация протеома человека. Особое внимание исследователей вызывают белки клеток крови, печени и головного мозга. Сравнение протеомов здорового и больного пациентов позволяет выявить конкретные белки, вовлечённые в развитие болезни. Информация о таких белках в дальнейшем может использоваться для ранней диагностики заболевания. Сравнение протеомов двух организмов (необязательно близкородственных) позволяет выявить как общие для этих двух организмов белки, так и белки, которые обуславливают различия их

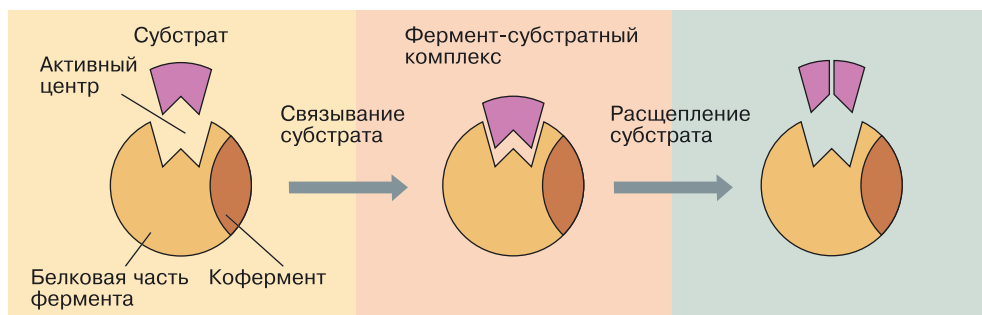


Рис. 24. Схема образования комплекса «фермент—субстрат»

фенотипов. Такой анализ может давать информацию, полезную для понимания эволюционного процесса.

Ферменты. К настоящему времени выделено и изучено огромное количество ферментов, каждый из которых способен влиять на скорость той или иной биохимической реакции.

Молекулы одних ферментов состоят только из белков, другие включают белок и небелковое соединение, или кофермент. В качестве коферментов выступают различные вещества, как правило, витамины и неорганические — ионы различных металлов.

В основном ферменты строго специфичны, т. е. ускоряют только определённые реакции, хотя встречаются ферменты, которые катализируют несколько реакций. Такая избирательность действия ферментов связана с их строением. Активность фермента определяется не всей его молекулой, а определённым участком, который называют активным центром фермента. Форма и химическое строение активного центра таковы, что с ним могут связываться только определённые молекулы, которые подходят ферменту, как ключ замку. Вещество, с которым связывается фермент, называют субстратом. Иногда одна молекула фермента имеет несколько активных центров, что, естественно, ещё более увеличивает скорость катализируемого биохимического процесса.

На заключительном этапе химической реакции комплекс «фермент—субстрат» распадается на конечные продукты и свободный фермент. Освободившийся при этом активный центр фермента может снова принимать новые молекулы вещества-субстрата (рис. 24).

Повторите и вспомните!

Человек

Обмен углеводов. В организм углеводы попадают в виде различных соединений: крахмала, гликогена, сахарозы, фруктозы, глюкозы. Сложные углеводы начинают перевариваться уже в ротовой полости. В двенадцатиперстной кишке они расщепляются окончательно.

но — до глюкозы и других простых углеводов. В тонком кишечнике простые углеводы всасываются в кровь и направляются в печень. Здесь избыток углеводов задерживается и превращается в гликоген, а оставшаяся часть глюкозы распределяется между всеми клетками тела. В организме глюкоза прежде всего является источником энергии. Расщепление 1 г глюкозы сопровождается выделением 17,6 кДж (4,2 ккал) энергии. Продукты распада углеводов (углекислый газ и вода) выводятся через лёгкие или с мочой. Главная роль в регуляции концентрации глюкозы в крови принадлежит гормонам поджелудочной железы и надпочечников.

Больше всего углеводов содержится в продуктах растительного происхождения. Обычно в пище человека встречаются такие углеводы, как крахмал, свекловичный сахар (сахароза) и фруктовый сахар. Особенно богаты крахмалом различные крупы, хлеб, картофель. Очень полезен фруктовый сахар, он легко усваивается организмом. Этого сахара много в мёде, фруктах и ягодах. Взрослому человеку необходимо получать с пищей не менее 150 г углеводов в сутки. При выполнении физически тяжёлых работ это количество необходимо увеличить в 1,5—2 раза. С точки зрения процессов обмена веществ введение в организм полисахаридов более рационально, чем моно- и дисахаридов. Действительно, относительно медленный распад крахмала в пищеварительной системе приводит к постепенному поступлению глюкозы в кровь. В случае же переедания сладкого концентрация глюкозы в крови растёт резко, скачкообразно, что негативно влияет на работу многих органов (в том числе поджелудочной железы).

Обмен белков. Попадая в организм, пищевые белки под действием ферментов расщепляются в желудочно-кишечном тракте до отдельных аминокислот и в таком виде всасываются в кровь. Главная функция этих аминокислот — пластическая, т. е. из них строятся все белки нашего организма. Реже белки используются как источники энергии: при распаде 1 г выделяется 17,6 кДж (4,2 ккал). Аминокислоты, входящие в состав белков нашего организма, подразделяют на заменимые и незаменимые. *Заменимые* аминокислоты могут синтезироваться в нашем организме из других аминокислот, поступающих с пищей. К ним относятся глицин, серин и другие. Однако многие необходимые нам аминокислоты не синтезируются в нашем организме и поэтому должны постоянно поступать в организм в составе белков пищи. Такие аминокислоты называют *незаменимыми*. Среди них, например, валин, метионин, лейцин, лизин и некоторые другие. В случае дефицита незаменимых аминокислот возникает состояние «белкового голодания», приводящее к замедлению роста организма, ухудше-

нию процессов самовозобновления клеток и тканей. Пищевые белки, содержащие все необходимые человеку аминокислоты, называют *полноценными*. К ним относят животные и некоторые растительные белки (бобовых растений). Пищевые белки, в составе которых отсутствуют какие-либо незаменимые аминокислоты, называют *неполноценными* (например, белки кукурузы, ячменя, пшеницы).

Большинство продуктов питания содержит белок. Богаты белком мясо, рыба, сыр, творог, яйца, горох, орехи. Особенно важны животные белки молодому растущему организму. Недостаток полноценных белков в пище приводит к замедлению роста. В сутки человеку необходимо съедать с пищей 100—120 г белка.

Распадаясь, аминокислоты образуют воду, углекислый газ и ядовитый аммиак, который в печени превращается в мочевины. Конечные продукты обмена белков выводятся из организма с мочой, потом и в составе выдыхаемого воздуха.

9. Органические вещества. Нуклеиновые кислоты

Вспомните!

Почему нуклеиновые кислоты относят к гетерополимерам?

Что является мономером нуклеиновых кислот?

Какие функции нуклеиновых кислот вам известны?

Какие свойства живого определяются непосредственно строением и функциями нуклеиновых кислот?

В 1868 г. швейцарский врач и биохимик Иоганн Фридрих Мишер выделил из ядер погибших лейкоцитов вещество, обладающее кислотными свойствами. Учёный назвал это вещество нуклеином (от лат. *nucleus* — ядро), считая, что оно содержится только в ядрах клеток. Позднее эти органические соединения были обнаружены также в цитоплазме, митохондриях, пластидах, но данное им название — нуклеиновые кислоты — сохранилось.

Значение нуклеиновых кислот в клетке чрезвычайно велико. Особенности их строения позволяют им выполнять функции хранения, реализации и передачи наследственной информации, т. е. практически определять основные свойства живого. Поэтому изучение структуры нуклеиновых кислот очень важно для понимания принципов функционирования живых организмов.

Существует два типа нуклеиновых кислот: дезоксирибонуклеиновая кислота (ДНК) и рибонуклеиновая кислота (РНК), присутствующие

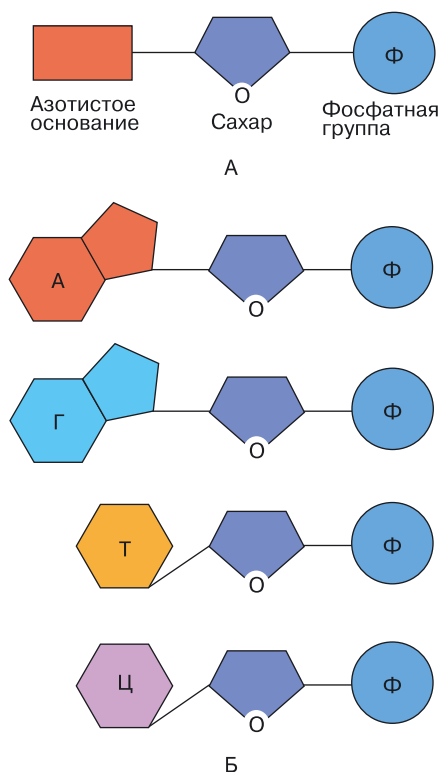


Рис. 25. Общая формула нуклеотида (А) и четыре типа нуклеотидов ДНК (Б)

щие во всех клетках. Исключением являются вирусы — неклеточная форма жизни, одни из которых содержат исключительно РНК, а другие — только ДНК.

Дезоксирибонуклеиновая кислота (ДНК). В середине XX в., когда роль ДНК в передаче признаков из поколения в поколение уже была доказана, структура и организация этих биополимеров была окончательно ещё неясна. Было известно, что молекулы ДНК состоят из мономеров — нуклеотидов, каждый из которых содержит остаток фосфорной кислоты, сахар — дезоксирибозу и одно из четырёх азотистых оснований — аденин (А), гуанин (Г), тимин (Т) или цитозин (Ц); т. е. существует четыре типа нуклеотидов (рис. 25). Но вопрос о том, есть ли какая-нибудь закономерность в расположении этих мономеров в цепи ДНК, оставался открытым.

В начале 50-х гг. XX в. профессор биохимии Колумбийского университета Эрвин Чаргафф опреде-

лил состав ДНК с гораздо большей точностью по сравнению с предыдущими исследованиями. Он обнаружил, что содержание четырёх типов оснований в ДНК вовсе не соответствует соотношению 1 : 1 : 1 : 1, как предполагали ранее. Особенно поразило исследователя то, что количество аденина (А) всегда было равно количеству тимина (Т), а содержание гуанина (Г) всегда было равно содержанию цитозина (Ц). Это не могло быть простым совпадением. Например, в ДНК человека оказалось 30% А, 30% Т, 20% Г и 20% Ц. Причём выяснилось, что состав ДНК клеток качественно и количественно неодинаков у разных организмов, но идентичен в органах и тканях одного и того же организма. Это ещё раз подтверждало, что именно ДНК является химической основой наследственности.

Эта закономерность соотношения количества аденина и тимина (А—Т) и гуанина и цитозина (Г—Ц) получила название *правило Чаргаффа* и послужила ключом к разгадке структуры ДНК.

В 1953 г. физик Ф. Крик и генетик Дж. Уотсон, работавшие в лаборатории Кембриджского университета, расшифровали простран-

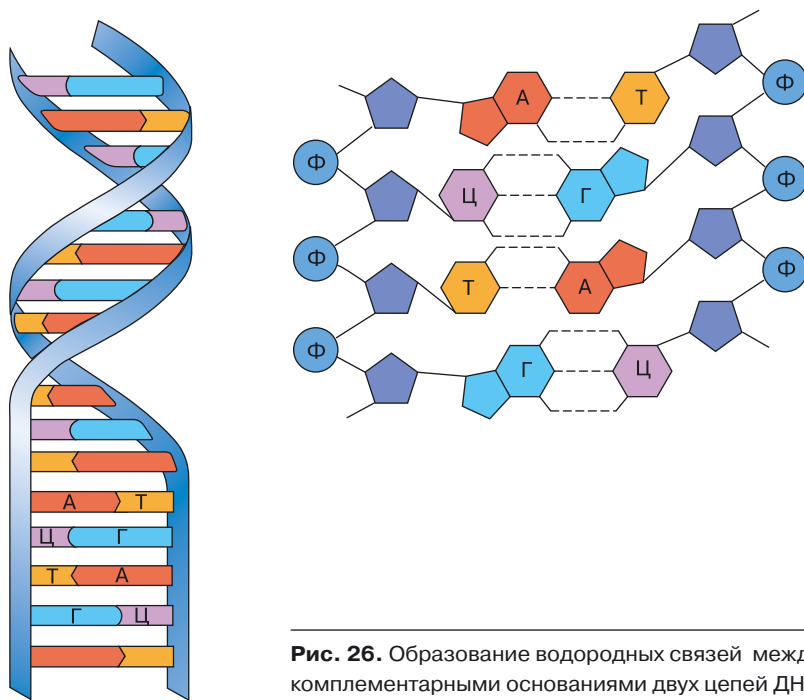


Рис. 26. Образование водородных связей между комплементарными основаниями двух цепей ДНК

ственную структуру ДНК. Оказалось, что дезоксирибонуклеиновая кислота состоит из двух полинуклеотидных цепей, образующих правозакрученную двойную спираль. В каждой цепи нуклеотиды соединяются между собой благодаря образованию эфирных связей между дезоксирибозой одного и остатками фосфорной кислоты другого нуклеотида. Но, пожалуй, самым интересным свойством этой структуры оказалась *комплементарность* (взаимодополнительность) обеих цепей: напротив основания А одной полинуклеотидной цепи в другой цепи всегда стоит Т, напротив Т — А, напротив Г — Ц, а напротив Ц — Г. Это строгое соответствие объяснило закономерность, открытую Чаргаффом. Цепи ДНК не просто располагаются параллельно друг другу, между членами пар А—Т и Г—Ц образуются водородные связи, которые удерживают цепи вместе и обеспечивают правильное расположение мономеров (рис. 26). Именно благодаря этим связям ДНК является единственной молекулой, способной к самоудвоению.

Но почему именно А—Т и Г—Ц? Почему не могут располагаться друг напротив друга, например, А и Ц? Дело в том, что в существующих комбинациях основания оптимально «подходят» друг другу: А соединяется с Т двумя водородными связями, а Г с Ц — тремя. Одинаковые по размеру основания Ц и Т гораздо меньше оснований Г и А. Пара Т—Ц была бы слишком мала, а А—Г — велика, и спи-

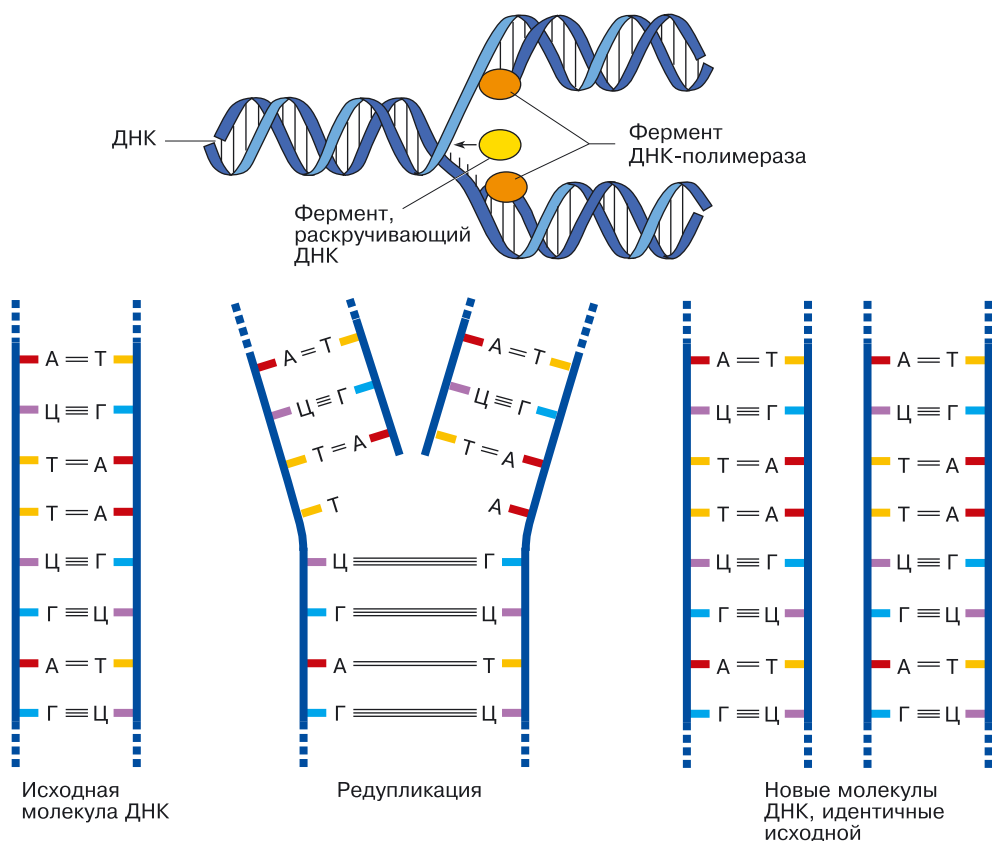


Рис. 27. Редупликация ДНК

ральная «лестница» ДНК искривилась бы, имея то слишком длинные, то слишком короткие «перекладины».

Функции ДНК. Выделяют три основные функции ДНК.

Хранение наследственной информации. Порядок расположения нуклеотидов в молекуле ДНК определяет порядок расположения аминокислот в молекулах белков, т. е. их первичную структуру. Различия между организмами определяются различиями в их белковом составе. Именно белки формируют свойства клетки и организма в целом. Поэтому молекулы ДНК, в которых с помощью генетического кода (§ 13) зашифрована информация о белках, по сути, содержат информацию о всех свойствах и признаках организма. Участок молекулы ДНК, кодирующий первичную структуру одной полипептидной цепи, называют *геном*.

Передача наследственной информации следующему поколению. Эта функция осуществляется благодаря способности ДНК к удвоению (*редупликации*) (рис. 27). Специальный фермент раскручивает молекулу ДНК, водородные связи между основаниями разрываются

ся и цепи расходятся. Затем на каждой цепи ДНК фермент ДНК-полимераза по принципу комплементарности строит новую цепь. В итоге образуются две совершенно идентичные молекулы ДНК, в каждой из которых одна цепь является материнской, так называемой матричной, а вторая — дочерней. Такой способ редупликации называется полуконсервативным. В дальнейшем в процессе деления образовавшиеся молекулы ДНК распределяются между дочерними клетками, обеспечивая точную передачу наследственной информации.

Передача генетической информации из ядра в цитоплазму. Белок синтезируется в цито-

плазме клетки, а информация о его структуре хранится в ДНК ядра. Следовательно, нужен некий посредник, передающий информацию от ДНК к месту синтеза белка. В роли такого посредника выступает информационная РНК, которая синтезируется по принципу комплементарности на одной из цепей ДНК, используя в качестве матрицы определённый участок — ген. Этот процесс называют *транскрипцией* (от лат. *transcriptio* — переписывание) (§ 13).

Рибонуклеиновые кислоты (РНК). РНК, так же как и ДНК, является биополимером, состоящим из четырёх типов мономеров — нуклеотидов (рис. 28). Нуклеотиды ДНК и РНК очень похожи, хотя и нетождественны. Мономеры РНК содержат остаток фосфорной кислоты, сахар — рибозу и азотистое основание. Причём три азотистых основания такие же, как и в ДНК, — аденин (А), гуанин (Г) и цитозин (Ц), а вместо тимина (Т) в РНК присутствует близкое ему по строению азотистое основание урацил (У).

РНК отличается от ДНК не только по строению нуклеотидов. Существует ещё ряд особенностей, характеризующих этот тип нуклеиновых кислот.

РНК — это одноцепочечная молекула. ■

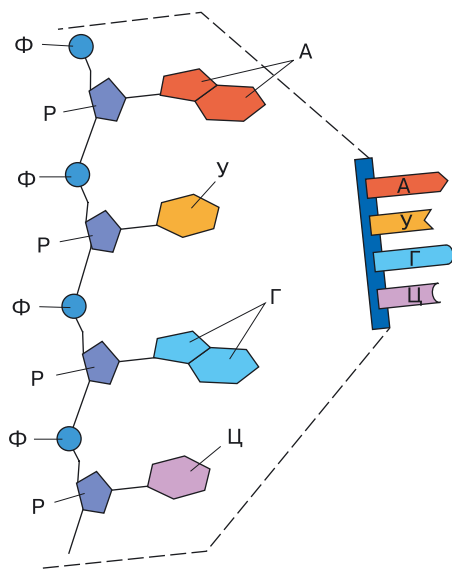


Рис. 28. Структура РНК

(Р — рибоза, Ф — фосфатная группа, А, У, Г, Ц — азотистые основания)

■ Двухцепочечная РНК обнаружена только у некоторых РНК-содержащих вирусов, где она выполняет функцию хранения генетической информации. Сходство строения ДНК и двухцепочечной РНК определяет сходство функций.

■ Ещё в 1941 г. несколько исследователей независимо друг от друга обнаружили, что особенно богаты РНК клетки, синтезирующие большое количество белка. Это наблюдение позволило предположить, что основной функцией РНК является участие в синтезе белка. В дальнейшем эта гипотеза полностью подтвердилась. Более того, оказалось, что для синтеза белковой молекулы требуется несколько видов РНК.

Если содержание ДНК в клетках организмов одного вида практически постоянно, то количество РНК может существенно варьировать. ■

В зависимости от строения и конкретной выполняемой функции различают три основных вида РНК.

Транспортная РНК (тРНК) в основном находится в цитоплазме клетки. Небольшие по размеру, состоящие всего из 75—90 нуклеотидов, молекулы тРНК составляют не более

15% от общего количества РНК в клетке. Функция тРНК — перенос аминокислот к месту синтеза белка в рибосому.

Рибосомальная РНК (рРНК), связываясь с определёнными белками, образует рибосомы — органоиды, обеспечивающие синтез всех клеточных белков. Молекулы рРНК состоят из 3—5 тыс. нуклеотидов. Среди всех видов РНК в клетке рРНК составляет подавляющую часть — около 80%.

Информационная (иРНК), или **матричная РНК (мРНК)**, переносит информацию о структуре белка от ДНК к месту синтеза белка в цитоплазме — к рибосоме. Каждая молекула иРНК соответствует определённому участку ДНК, кодирующему структуру одной белковой молекулы. Поэтому для каждого из тысяч синтезируемых клеткой белков существует своя специфическая иРНК. Размеры иРНК варьируют от 300 до 30 тыс. нуклеотидов. От общей массы РНК в клетке иРНК составляет 3—5%.

Все виды РНК синтезируются на ДНК, которая служит своего рода матрицей для создания этих полинуклеотидов.

АТФ и другие органические вещества клетки. Нуклеотиды — мономеры нуклеиновых кислот — являются структурной основой для многих важных для жизнедеятельности органических веществ. Среди них большую долю занимают соединения, содержащие богатые энергией (макроэргические) связи. Самое распространённое макроэргическое соединение — **аденозинтрифосфорная кислота (АТФ)**, со строением и функциями которой вы подробно познакомитесь в теме «Энергетический обмен» (§ 16).

Нуклеотиды могут быть предшественниками многих витаминов группы В (B_1 , B_2 , B_9 , B_{12}) — биологически активных веществ, необходимых для нормальной жизнедеятельности организмов. Производными нуклеотидов являются переносчики атомов водорода, участву-

ющие в окислительно-восстановительных реакциях. Производное АТФ — циклический аденозинмонофосфат (цАМФ) выполняет в организме роль вторичного посредника. Он передаёт в клетку сигналы некоторых гормонов (например, адреналина), которые не могут проникать через клеточную мембрану.

Вопросы для повторения и задания

1. Что такое нуклеиновые кислоты? Почему их так назвали?
2. Какие типы нуклеиновых кислот вы знаете?
3. Самостоятельно выберите критерии и сравните строение молекул ДНК и РНК. Представьте материал сравнения в виде таблицы.
4. Назовите функции ДНК. Как связаны строение и функции ДНК?
5. Какие виды РНК существуют в клетке, где они синтезируются? Перечислите их функции.
6. Достаточно ли знать, какой моносахарид входит в состав нуклеотидов, чтобы понять, о какой нуклеиновой кислоте идёт речь?
7. Фрагмент одной цепи ДНК имеет следующий состав: А—Г—Ц—Г—Ц—Ц—Ц—Т—А—. Используя принцип комплементарности, достройте вторую цепь.

Подумайте! Выполните!

1. Почему в клетках существует три вида молекул РНК, но только один вид ДНК?
2. Чем молекула ДНК как полимер отличается от молекулы белка?
3. Какие виды РНК будут одинаковы у всех организмов? Какой вид РНК обладает максимальной изменчивостью? Объясните свою точку зрения.

10. Эукариотическая клетка. Цитоплазма. Органоиды

Вспомните!

Каковы основные положения клеточной теории?

Какие выделяют типы клеток в зависимости от расположения генетического материала?

Назовите известные вам органоиды клетки. Какие функции они выполняют?

В § 4 мы уже говорили о существовании двух типов клеток — прокариотических и эукариотических, различия между которыми носят принципиальный характер. У прокариот (от лат. *pro* — до, перед

Животная клетка

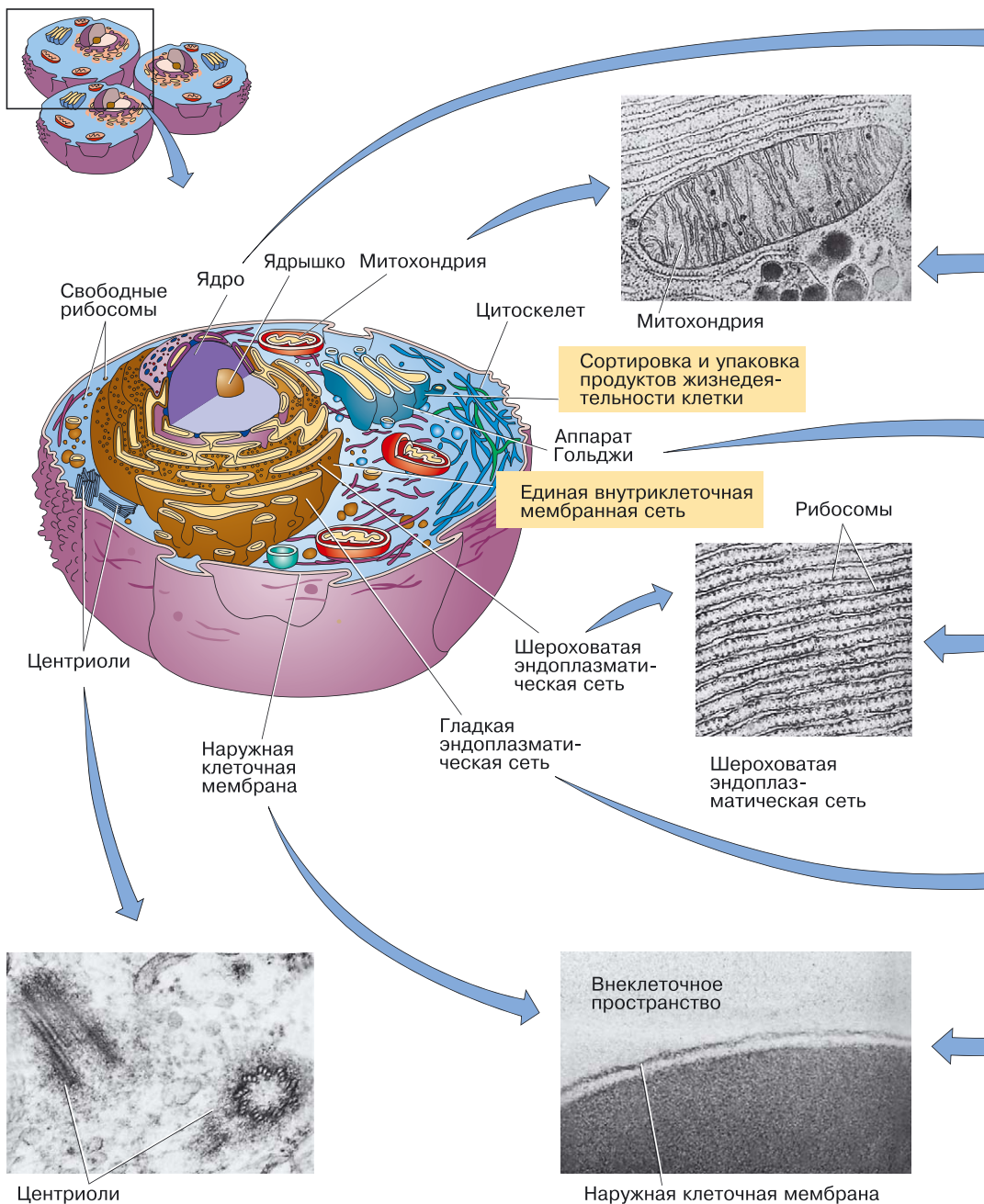
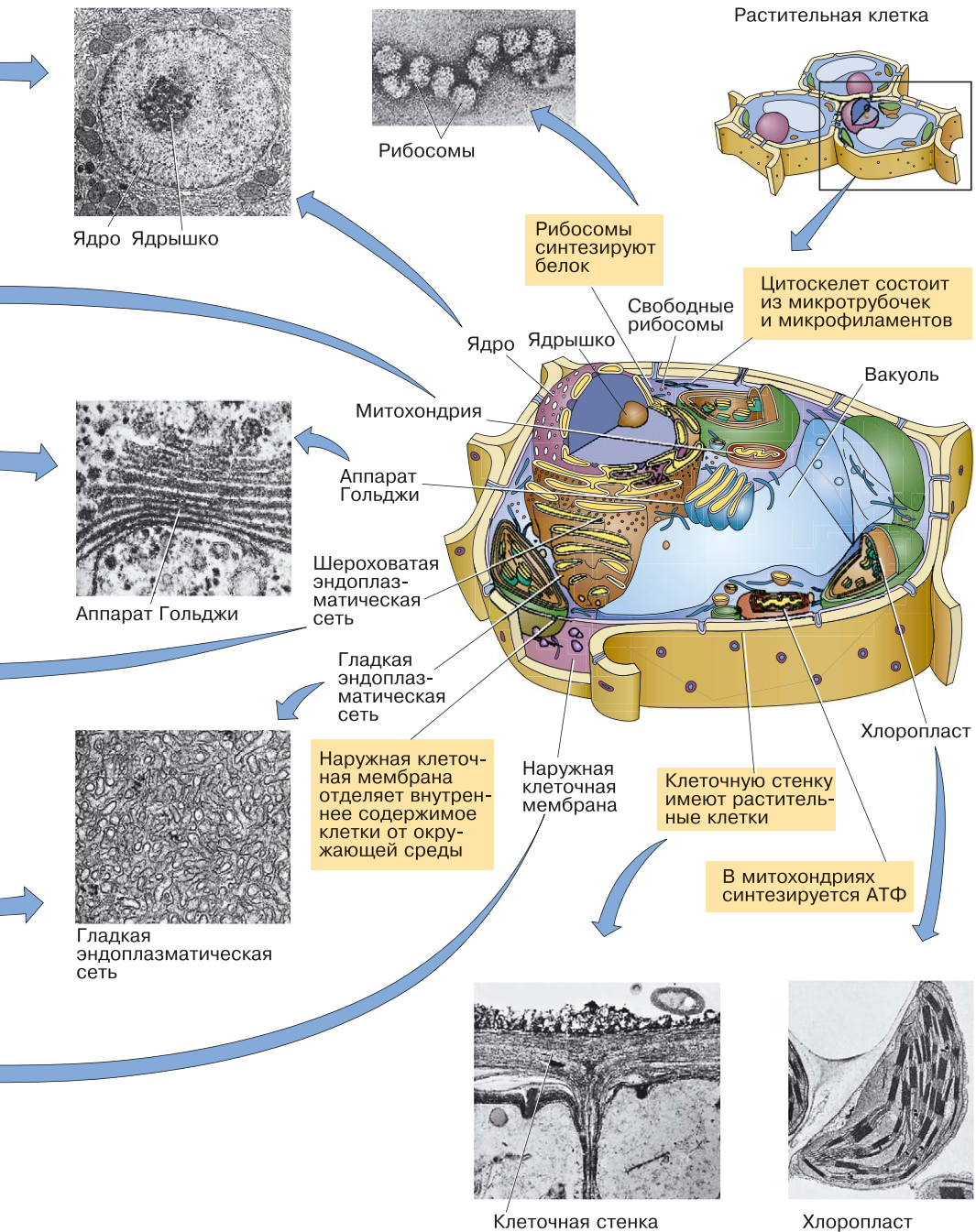


Рис. 29. Строение эукариотических клеток



и греч. *karyon* — ядро) ДНК не окружена мембраной и свободно располагается в цитоплазме, т. е. у них нет настоящего оформленного ядра. В клетках эукариот (от греч. *eu* — полностью, хорошо) присутствует ядро. В настоящее время большинство учёных считает, что эукариотические клетки в процессе эволюции произошли от прокариотических. Чуть позже мы с вами рассмотрим эту гипотезу, но прежде нам надо изучить принципиальное строение клеток.

К эукариотическим организмам относятся грибы, растения и животные. Их клетки наиболее крупные и сложно устроенные по сравнению с клетками прокариот — бактерий и синезелёных водорослей (цианобактерий).

Подобно тому как в любом организме основные функции распределены между отдельными органами и системами органов, в клетке тоже существует «разделение труда» между структурами и органоидами. Строение различных клеток несколько отличается в зависимости от той конкретной задачи, которую они выполняют в многоклеточных организмах. Однако существуют общие принципы клеточной организации, характерные для всех типов клеток, как одноклеточных, так и многоклеточных животных, растений и грибов.

Рассмотрим строение типичной эукариотической клетки (рис. 29).

В каждой клетке можно выделить три основные части: наружная клеточная мембрана, которая отделяет содержимое клетки от внешней среды; ядро — обязательный компонент эукариотических клеток, в котором хранится наследственная информация; и цитоплазма — часть клетки, заключённая между наружной мембраной и ядром.

Наружная клеточная мембрана. Термин «мембрана» (от лат. *membrana* — кожа, оболочка) был предложен более 100 лет назад для обозначения границ клетки. Однако в дальнейшем с развитием электронной микроскопии было обнаружено, что клеточные мембраны входят в состав многих структурных элементов клетки. Первая гипотеза строения мембраны была выдвинута ещё в 1935 г. А в 1959 г. Вильям Робертсон сформулировал гипотезу элементарной мембраны; в ней постулировалось, что все клеточные мембраны построены по единому принципу. К началу 70-х гг. XX в. накопилось много новых данных, на основании которых в 1972 г. была предложена новая *жидкостно-мозаичная модель* строения мембраны, которая в настоящее время является общепризнанной.

Согласно этой модели основой любой мембраны является двойной слой фосфолипидов; в нём гидрофобные остатки жирных кислот обращены внутрь, а гидрофильные головки, включающие глицерин и остаток фосфорной кислоты, — наружу. С липидным бислоем связаны молекулы белков, которые могут пронизывать его насквозь, погружаться в него или примыкать с наружной или внутренней сто-

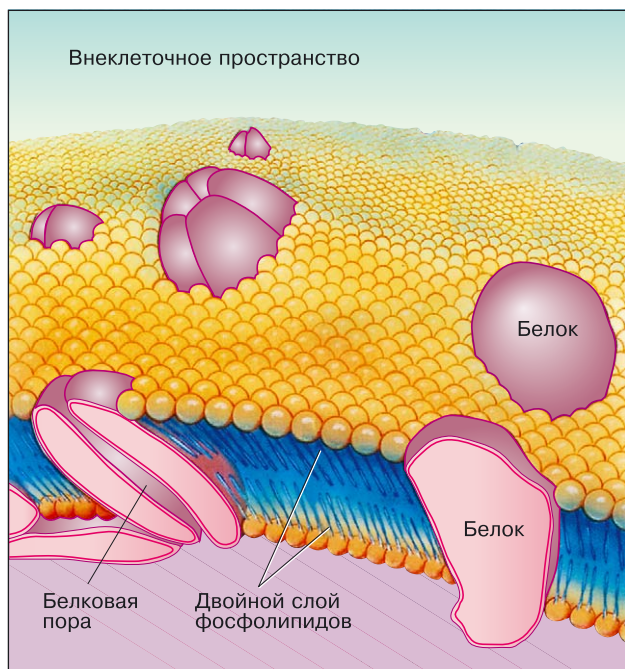


Рис. 30. Строение клеточной мембраны

роны. Расположение этих белков жёстко не фиксировано, и большинство из них свободно «плавают», образуя подвижную мозаичную структуру (рис. 30).

Наружная клеточная мембрана имеет универсальное строение, типичное для всех клеточных мембран. Положение этой мембраны на границе клетки и окружающей среды определяет её основные функции. Прочная и эластичная плёнка, легко восстанавливающаяся после незначительных повреждений, является прекрасным *барьером*, предохраняющим клетку от попадания в неё чужеродных токсических веществ и обеспечивающим поддержание постоянства внутриклеточной среды.

Транспортная функция мембраны носит избирательный характер: одни вещества легко проникают внутрь клетки через специальные поры или с помощью белков-переносчиков, а для других — мембрана непроницаема. Будучи подвижной структурой, мембрана клетки может образовывать выросты, захватывая твёрдые частицы (фагоцитоз) (рис. 31) или капли жидкости (пиноцитоз), при этом образуются фагоцитозные или пиноцитозные вакуоли. Общее название пино- и фагоцитоза — эндоцитоз (от греч. *endon* — внутри). В клетке существует и обратный процесс — экзоцитоз (от греч. *exo* — вне). В процессе экзоцитоза вещества, синтезированные клеткой и упакованные в мембранные пузырьки, выбрасываются из клетки, при этом мембрана пузырька встраивается в клеточную мембрану.

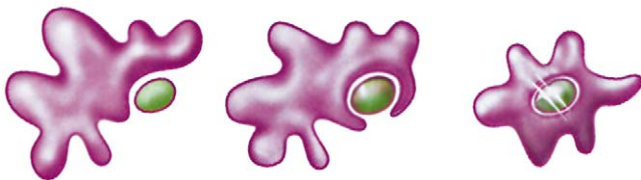


Рис. 31. Фагоцитоз. Амёба, поглощающая эвглену

Клеточная мембрана обеспечивает также *взаимодействие* клетки с окружающей средой и с другими клетками в многоклеточном организме. ■

Цитоплазма. Основой цитоплазмы клетки является цитоплазматический сок — *гиалоплазма* (от греч. *hyalos* — стекло и *plasma*, букв. — вылепленное, оформленное) — раствор органических веществ, в котором осуществляются биохимические реакции и располагаются постоянные структурные компоненты клетки — *органойды* (*органеллы*). Гиалоплазма является средой для объединения всех клеточных структур и обеспечивает их химическое взаимодействие. В процессе жизнедеятельности клетки в цитоплазме откладываются различные вещества, образуя непостоянные структуры — *включения* (глыбки гликогена, капли жира, пигментные гранулы).

Все органойды клетки подразделяют на *мембранные* и *немембранные*. Среди мембранных органойдов существуют *одномембранные* (эндоплазматическая сеть, комплекс Гольджи, лизосомы) и *двухмембранные* (митохондрии, пластиды).

Эндоплазматическая сеть (ЭПС). Этот органойд был открыт американским учёным Кейтом Робертсом Портером в 1945 г. Совокупность вакуолей, каналов, трубочек образует внутри цитоплазмы мембранную сеть, объединённую в единое целое с наружной мембраной ядерной оболочки. Различают два типа эндоплазматической сети — *шероховатая* (*гранулярная*) и *гладкая* (*агранулярная*) (рис. 32).

На поверхности мембран шероховатой ЭПС располагаются рибосомы, которые синтезируют все белки, необходимые для обеспечения жизнедеятельности клетки, а также продукты, выделяемые, т. е. секретируемые, клеткой. Синтезированные белковые молекулы посту-

пают в каналы ЭПС. Там они модифицируются, а затем по системе каналов переносятся в ту часть клетки, где необходимы. ■

В отличие от гранулярной эндоплазматической сети, на мембранах гладкой сети нет рибосом. Эта сеть участвует в синтезе липидов и углеводов, а также

■ Мембрана животных клеток снаружи покрыта тонким слоем углеводов и белков — гликокаликсом, а у клеток растений, грибов и бактерий снаружи от клеточной мембраны находится прочная клеточная стенка.

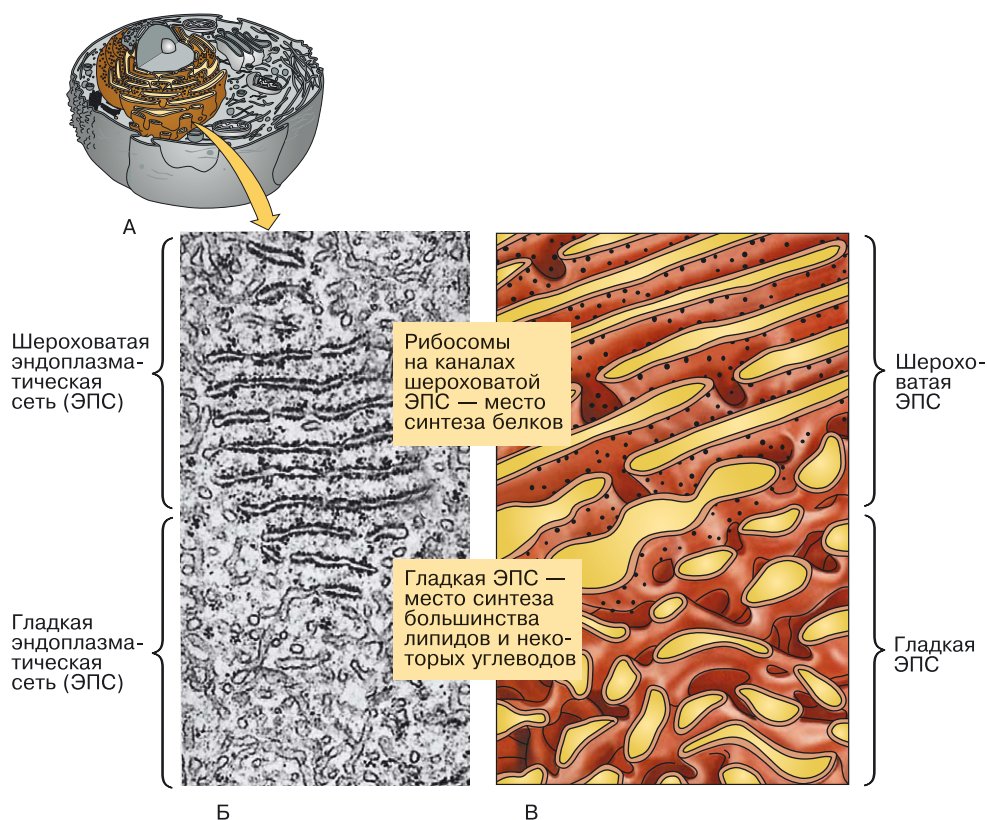


Рис. 32. Эндоплазматическая сеть: А — расположение в клетке; Б — электронная фотография участка ЭПС; В — схема участка ЭПС

обезвреживает токсичные (ядовитые) для организма вещества. Так, при некоторых отравлениях в клетках печени появляются обширные зоны, заполненные гладкими мембранами ЭПС.

Комплекс Гольджи (аппарат Гольджи). В 1898 г. итальянский учёный Камилло Гольджи, исследуя строение нервных клеток, обнаружил органоид, который входил в состав единой мембранной сети клетки и представлял собой стопку плоских цистерн (рис. 33). Комплекс Гольджи играет роль своеобразного центра, где происходит окончательная сортировка и упаковка различных продуктов жизнедеятельности клетки. Аппарат Гольджи формирует лизосомы

■ Скопления шероховатой эндоплазматической сети характерны для клеток, активно синтезирующих секреторные белки. Например, в клетках печени, нервных клетках, в клетках поджелудочной железы шероховатая эндоплазматическая сеть образует обширные зоны.

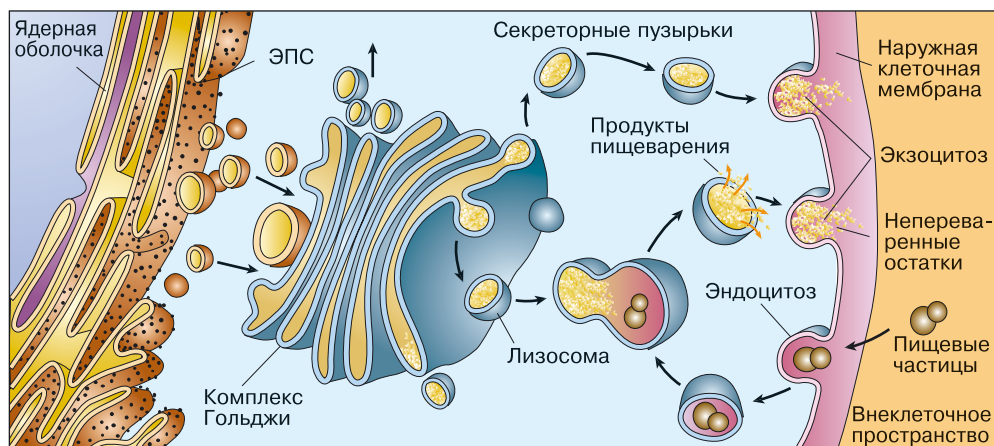


Рис. 33. Строение и функционирование аппарата Гольджи

и обеспечивает выведение необходимых белков за пределы клетки путём экзоцитоза.

Лизосомы. Это мелкие мембранные пузырьки диаметром 0,5 мкм, которые впервые были обнаружены при помощи электронного микроскопа в 1955 г. Они образуются в комплексе Гольджи или непосредственно в ЭПС и содержат разнообразные пищеварительные ферменты. Лизосомы участвуют во внутриклеточном пищеварении, образуя пищеварительные вакуоли, а также уничтожают отслужившие органеллы и даже целые клетки. Если содержимое лизосом высвобождается внутри самой клетки, то наступает саморазрушение клетки — автолиз, поэтому лизосомы называют «орудиями самоубийства» клетки. ■

Митохондрии. Эти органеллы имеют двухмембранное строение. Внешняя мембрана митохондрий гладкая, а внутренняя образует различные выросты (кристы) (рис. 34). Основная функция митохондрий — синтез АТФ, основного высокоэнергетического вещества клетки, поэтому их называют энергетическими станциями клетки. Митохондрии имеют собственные рибосомы и ДНК, поэтому способны самостоятельно синтезировать белки. В живых клетках митохондрии могут перемещаться, сливаться друг с другом, делиться. Их количество в клетке сильно варьирует — от единиц до нескольких тысяч. Обычно митохондрий больше в тех участках цитоплазмы и в тех клетках, где существует повышенная потребность в энергии. Особенно богаты митохондриями мы-

■ Именно лизосомы обеспечивают исчезновение хвоста головастика в процессе его превращения во взрослую лягушку.

печенные ткани и клетки нервной ткани.

Пластиды. Двухмембранные органоиды растительных клеток, которые размножаются путём деления. Существует три типа пластид — лейкопласты, хромопласты и хлоропласты. Основная функция бесцветных *лейкопластов* — запасание крахмала. Важнейшую роль в жизнедеятельности растительной клетки играют *хлоропласты* — зелёные пластиды, содержащие хлорофилл и осуществляющие фотосинтез. Осенью хлоропласты превращаются в *хромопласты* — пластиды с жёлтой, оранжевой и красной окраской. Как и митохондрии, пластиды имеют собственный генетический аппарат (ДНК), рибосомы и синтезируют белки.

Рибосомы. Субмикроскопические немембранные органоиды, функция которых — синтез белков, благодаря чему они являются обязательными органоидами в клетках всех живых организмов. Каждая рибосома в рабочем состоянии состоит из двух субъединиц — большой и малой, в состав которых входят молекулы белка и рибосомальной РНК (рРНК) (рис. 35). В цитоплазме рибосомы могут находиться в свободном состоянии или располагаться на шероховатых мембранах ЭПС. В зависимости от типа синтезируемого белка рибосомы могут «работать» поодиночке или объединяться в комплексы — *полирибосомы*. В таких комплексах рибосомы связаны одной молекулой иРНК.

Клеточный центр. Органоид немембранного строения. В клетках животных и некоторых водорослей он состоит из двух расположенных перпендикулярно друг другу цилинд-

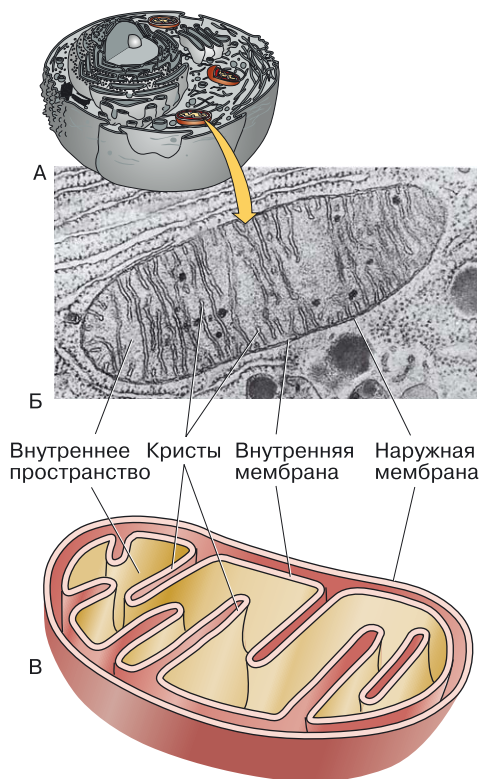


Рис. 34. Митохондрия: А — расположение в клетке; Б — электронная фотография; В — схема строения

Каждая рибосома в рабочем состоянии состоит из двух субъединиц — большой и малой, в состав которых входят молекулы белка и рибосомальной РНК (рРНК) (рис. 35). В цитоплазме рибосомы могут находиться в свободном состоянии или располагаться на шероховатых мембранах ЭПС. В зависимости от типа синтезируемого белка рибосомы могут «работать» поодиночке или объединяться в комплексы — *полирибосомы*. В таких комплексах рибосомы связаны одной молекулой иРНК.

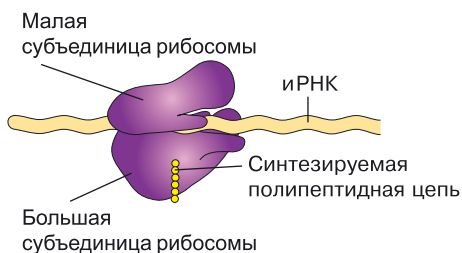


Рис. 35. Строение рибосомы

ров — центриолей. В процессе клеточного деления центриоли удваиваются, расходятся к полюсам и образуют веретено деления, обеспечивающее равномерное распределение хромосом между дочерними клетками. В клетках высших растений клеточный центр устроен по-другому.

Вакуоль. Обязательной принадлежностью растительной клетки является вакуоль. Это крупный мембранный пузырёк, заполненный клеточным соком, состав которого отличается от окружающей цитоплазмы. Вакуоль накапливает запасные питательные вещества и регулирует водно-солевой обмен, контролируя поступление воды в клетку и из клетки.

Принципиальные различия в строении животной и растительной клеток и клетки грибов приведены на рис. 29 и в табл. 2.

Таблица 2

Сравнительная характеристика растительной, животной и грибной клеток

Признак	Растительная клетка	Животная клетка	Грибная клетка
Клеточная стенка: наличие и состав	Есть. Клетка имеет постоянную форму. Основной компонент — целлюлоза	Нет. Клетка может менять форму	Есть. Клетка имеет постоянную форму. Основной компонент — хитин
Пластиды	Хлоропласты, хромопласты, лейкопласты	Нет	Нет
Основной запасной углевод	Крахмал	Гликоген	Гликоген
Центриоли	У высших растений нет, есть только у водорослей	Есть	Нет
Вакуоли	В молодых клетках мелкие и малочисленные, в зрелых клетках крупная, как правило, одиночная	Многочисленные мелкие, выполняющие в основном функцию внутриклеточного пищеварения	В молодых клетках мелкие и малочисленные, с возрастом становятся крупными и их число увеличивается

Вопросы для повторения и задания

1. Каковы отличия в строении эукариотической и прокариотической клеток?
2. Расскажите о пино- и фагоцитозе. Чем различаются эти процессы?
3. Раскройте взаимосвязь строения и функций мембраны клетки.
4. Какие органоиды клетки находятся в цитоплазме?
5. Охарактеризуйте органоиды цитоплазмы и их значение в жизнедеятельности клетки. Как особенности строения органоидов связаны с выполняемыми ими функциями?

Подумайте! Выполните!

1. В клетках каких органов и почему аппарат Гольджи наиболее развит? Как это связано с их функциями?
2. Какими путями осуществляется обмен веществ между клеткой и окружающей средой?
3. Рассмотрите рис. 33. Расскажите о взаимосвязи эндоплазматической сети, комплекса Гольджи и лизосом. Изобразите схематично эту взаимосвязь.
4. Объясните, как вы понимаете утверждение: «Биологические мембраны — важный фактор целостности клетки и внутриклеточных структур». Согласны ли вы с этим утверждением? Аргументируйте свою точку зрения.

Узнайте больше

Цитоскелет. Цитоскелет — это опорно-двигательная система эукариотической клетки, состоящая из белковых нитчатых образований. Эти структуры очень динамичны: они быстро возникают в результате полимеризации их элементарных молекул и так же быстро разбираются при деполимеризации. Основные компоненты цитоскелета — фибриллярные структуры и микротрубочки.

Фибриллярные структуры. К фибриллярным компонентам цитоплазмы эукариотических клеток относят микрофиламенты и промежуточные филаменты.

Микрофиламенты — это белковые нити диаметром около 7—8 нм, которые обычно располагаются пучками или слоями в наружном слое цитоплазмы, непосредственно под плазматической мембраной. Их можно увидеть в псевдоподиях амёб или в микроворсинках кишечного эпителия. Внутри каждой микроворсинки находится пучок из 20—30 микрофиламентов, придающий ей жёсткость и прочность. В состав микрофиламентов входят сократительные белки, в основном актин и миозин. Следовательно, микрофиламенты являются также внутриклеточным сократительным аппаратом, обеспечивающим подвижность клеток и большинство внутриклеточных движений. Очень важны микрофиламенты для процессов фагоцитоза и пиноцитоза.

■ В настоящее время для определения тканевого происхождения различных опухолей проводят анализ белков их промежуточных филаментов. Дело в том, что при перерождении клетки в раковую она теряет многие черты своей изначальной организации и определить тип опухоли очень трудно. Но белки промежуточных филаментов остаются такими же, какими они были в изначальной ткани. Исследуя белки филаментов в опухолевых клетках, можно точно определить, клетки какой ткани дали начало этой опухоли. Это правило распространяется и на метастазы опухолей, которые могут находиться далеко от места первоначального образования опухолей. Определение белков филаментов позволяет провести корректную цитодиагностику опухолей и правильно подобрать химиотерапевтические противоопухолевые препараты.

Промежуточные филаменты — это неветвящиеся, часто располагающиеся пучками белковые нити толщиной около 10 нм. Эта сложная система цитоскелетных нитей изучена относительно недавно. Оказалось, что, в отличие от других элементов цитоскелета, промежуточные филаменты построены в разных клетках из разных белков. Так, например, в клетках эпителия в состав промежуточных филаментов входит кератин, а в мышечных клетках — белок десмин. Особенно много промежуточных филаментов в клетках, подверженных механическим воздействиям. ■

Микротрубочки. Микротрубочки — это неветвящиеся длинные полые трубки, диаметром около 25 нм. Стенка микротрубочек состоит из плотно уложенных округлых субъединиц, основной компонент которых — белок тубулин. Микротрубочки присутствуют во всех эукариотических клетках. Образуя сеть в цитоплазме интерфазных клеток, микротрубочки создают внутриклеточный каркас — цитоскелет, необходимый для под-

держания формы клетки. Микротрубочки входят в состав центриолей клеточного центра, веретена деления, ресничек и жгутиков. В больших количествах они обнаруживаются в отростках нервных клеток, чья форма должна быть постоянной. Кроме этого микротрубочки участвуют во внутриклеточном транспорте. По ним, как по рельсам, могут передвигаться мелкие вакуоли, содержащие различные вещества. Микротрубочки — очень динамичные структуры, они постоянно собираются и разбираются. Среднее время жизни микротрубочки в животной клетке в интерфазе около 10 минут, во время митоза — гораздо меньше. Есть в клетке и стабильные, долго живущие микротрубочки. Длина микротрубочек может быть самая различная: от десятых долей микрона до нескольких микрон. Добавление алкалоида колхицина предотвращает самосборку микротрубочек или приводит к разрушению уже существующих. Это действие колхицина используется, например, если необходимо остановить деление клетки.

Клеточный центр. Клеточный центр — это место организации и роста микротрубочек. В клетках животных и некоторых водорослей клеточный центр, или центросома, состоит из двух центриолей и связанных с ними микротрубочек —

центросферы. Впервые центриоли были описаны немецким цитологом Вальтером Флемингом в 1875 г., но сам термин «центриоль» был предложен позже, в 1895 г. Немецкий учёный Теодор Бовери ввёл его для обозначения очень мелких телец, размер которых находился на границе разрешающей способности микроскопа. Подробно строение центриолей удалось изучить только с помощью электронного микроскопа.

Центриоль представляет собой полый цилиндр диаметром 150—250 нм и длиной 300—500 нм. Стенка центриоли состоит из девяти комплексов микротрубочек, причём каждый комплекс в свою очередь построен из трёх микротрубочек. Такие триплеты связаны между собой специальными белками. В центральной части цилиндра микротрубочек нет.

Обычно в интерфазных клетках присутствуют две центриоли, расположенные под прямым углом друг к другу. При подготовке клеток к митотическому делению центриоли удваиваются: две материнские центриоли расходятся, и около каждой из них возникает заново по одной новой дочерней, так что в клетке перед делением обнаруживаются четыре центриоли.

Центриоли участвуют в образовании нитей веретена деления. В клетках высших растений клеточный центр устроен по-другому и центриолей не содержит.

Реснички и жгутики. Это специальные органоиды движения, встречающиеся в некоторых клетках различных организмов. В световом микроскопе эти структуры выглядят как тонкие выросты клетки. В основании ресничек и жгутиков в цитоплазме видны мелкие гранулы — базальные тельца. Длина ресничек 5—10 мкм, а длина жгутиков может достигать 150 мкм.

Реснички и жгутики представляют собой тонкие выросты цитоплазмы, от основания до самой вершины покрытые плазматической мембраной. Внутри выроста цитоплазмы по кругу расположены микротрубочки — 9 пар (дуплетов). Дуплеты связаны друг с другом при помощи молекул белка. Кроме периферических дуплетов микротрубочек, образующих цилиндр, в центре реснички располагается пара центральных микротрубочек. В основании органоидов движения, в цитоплазме, расположены базальные тельца — одно у ресничек и два у жгутиков. Базальное тельце по своей структуре очень сходно с центриолью. Оно тоже состоит из 9 триплетов микротрубочек.

Реснички и жгутики структурно связаны с базальным тельцем и составляют вместе единое целое.

Жгутики характерны для ряда простейших (класс Жгутиконосцы), зооспор и сперматозоидов. Реснички — это органоиды движения инфузорий, свободноплавающих личинок многих морских животных и мужских гамет некоторых папоротников. Имеют реснички и клетки мерцательного эпителия у многоклеточных животных (до 500 ресничек на клетку). ■

Включения. Клеточные включения — это непостоянные структуры,

■ Дефекты ресничек могут приводить к различным врождённым патологиям. Так, например, нарушение структуры мерцательного эпителия дыхательных путей становится причиной наследственного бронхита. Причиной некоторых форм наследственного мужского бесплодия являются дефекты жгутиков сперматозоидов.

неспособные к самостоятельному существованию, которые клетка использует для своих нужд или выделяет в окружающую среду.

Различают трофические (резервные), секреторные и пигментные включения. К *трофическим включениям* относят, например, капли жира, глыбки гликогена, крахмальные зёрна. Гликогена очень много в клетках печени, а липидные гранулы в основном содержатся в специализированных жировых клетках.

Секреторные включения — мембранные вакуоли, содержащие биологически активные вещества, которые подлежат удалению путём экзоцитоза, поэтому их часто называют экскреторными гранулами. Таких гранул много в железистых клетках животных.

Пигментные включения, локализованные в цитоплазме, могут обеспечивать окраску ткани или органа. Примером пигментных включений являются гранулы меланина, обеспечивающие пигментацию.

Надмембранный комплекс животных клеток. Гликокаликс. Эукариотические клетки животных не образуют клеточных стенок, но на поверхности их плазматической мембраны есть сложный комплекс — гликокаликс, который выполняет важные функции. В его состав входят сложные органические вещества — гликопротеины и гликолипиды, а также надмембранные участки белков, погружённых в мембрану.

Гликокаликс выполняет ряд важных функций. В нём происходит внеклеточное пищеварение, там располагаются многие рецепторы клетки, и с помощью гликокаликса некоторые клетки контактируют друг с другом.

Мембранный транспорт. Одна из важных функций наружной клеточной мембраны — транспортная. Плазматическая мембрана обладает избирательной проницаемостью — она пропускает только определённые вещества и молекулы. Выделяют пассивный и активный транспорт через мембрану.

Пассивный транспорт. Этот вид транспорта осуществляется без дополнительных затрат энергии. К нему относят диффузию и ионный транспорт. *Диффузия* — это транспорт через мембрану веществ из зоны высокой концентрации в зону низкой концентрации. Этот процесс не нуждается в энергии, он идёт относительно медленно и прекращается, когда концентрация веществ по обе стороны мембраны уравнивается. Скорость диффузии и сама возможность транспорта веществ через мембрану зависит (помимо концентрации) от ряда других факторов: температуры, размера молекул, способности растворяться в липидах. Жирорастворимые вещества легко проходят через липидные слои, водорастворимые — с трудом. В мембране существуют специальные каналы, образованные белковыми молекулами, через которые и происходит диффузия. *Ионный транспорт* — это разновидность пассивного транспорта для заряженных ионов. Транспорт ионов через мембрану осуществляется либо сквозь специальные ионные поры, либо с помощью переносчиков.

Активный транспорт. Если диффузия продолжается достаточно долго, это может привести к тому, что по обе стороны мембраны концентрация веществ выравнивается. Для клетки это равнозначно смерти — в норме состав цитоплазмы и состав межклеточной жидкости должны сильно различаться. Поэтому существует система активного транспорта, благодаря которому перенос моле-

кул происходит против градиента концентрации (из зоны низкой концентрации в зону высокой). Активный транспорт осуществляют специальные белковые мембранные комплексы, так называемые *ионные насосы*, работающие с затратой энергии. До 40% всей энергии, вырабатываемой клеткой, идёт на эти транспортные расходы.

Транспорт в мембранной упаковке (эндо- и экзоцитоз). В отличие от ионов и мелких молекул, макромолекулы сквозь клеточную мембрану не проходят. Их перенос происходит путём эндоцитоза. Происходит выпячивание наружной плазматической мембраны, охватывающее внеклеточный материал. Образуется вакуоль, которая погружается в глубь цитоплазмы клетки. Такой процесс впервые был открыт российским учёным, лауреатом Нобелевской премии Ильёй Ильичом Мечниковым и назван фагоцитозом. Процесс захвата клеткой капелек жидкости получил название «пиноцитоз».

Процесс, обратный эндоцитозу, — выведение из клеток каких-либо веществ и продуктов, называют экзоцитозом. На базе мембранного транспорта основан процесс выделения секретов и гормонов клетками. И эндо-, и экзоцитоз являются энергозатратными процессами, поэтому относятся к активному транспорту.

11. Клеточное ядро. Хромосомы

Вспомните!

Какие клетки не имеют ядер?

В каких частях и органоидах клетки содержится ДНК?

Каковы функции ДНК?

Обязательным компонентом всех эукариотических клеток является *ядро* (лат. *nucleus*, греч. *karyon*). Клеточное ядро хранит наследственную информацию и управляет процессами внутриклеточного метаболизма, обеспечивая нормальную жизнедеятельность клетки и выполнение ею своих функций. Как правило, ядро имеет сферическую форму, но существуют также веретеновидные, подковообразные, сегментированные ядра. У большинства клеток ядро одно, но, например, у инфузории туфельки два ядра — макронуклеус и микронуклеус, а в поперечно-полосатых мышечных волокнах находятся сотни ядер. Ядро и цитоплазма — это взаимосвязанные компоненты клетки, которые не могут существовать друг без друга. Их постоянное взаимодействие обеспечивает единство клетки и в структурном, и в функциональном смысле. В эукариотических организмах существуют клетки, не имеющие ядер, но срок их жизни недолог. ■

Каждое клеточное ядро окружено ядерной оболочкой, содержит ядерный сок, хроматин и одно или несколько ядрышек.

■ В процессе созревания теряют ядро эритроциты, которые функционируют не более 120 дней, а затем разрушаются в селезёнке. Безъядерные тромбоциты (кровяные пластинки) циркулируют в крови около 7 дней.

Ядерная оболочка. Эта оболочка отделяет содержимое ядра от цитоплазмы клетки и состоит из двух мембран, имеющих типичное для всех мембран строение. Наружная мембрана переходит непосредственно в эндоплазматическую сеть, образуя единую мембранную

структуру клетки. Поверхность ядра пронизана порами, через которые осуществляется обмен различными материалами между ядром и цитоплазмой. Например, из ядра в цитоплазму выходят РНК и субъединицы рибосом, а в ядро поступают нуклеотиды, необходимые для сборки РНК, ферменты и другие вещества, обеспечивающие деятельность ядерных структур.

Ядерный сок. Раствор белков, нуклеиновых кислот, углеводов, в котором происходят все внутриядерные процессы.

Ядрышко. Место синтеза рибосомальной РНК (рРНК) и сборки отдельных субъединиц рибосом — важнейших органоидов клетки, обеспечивающих биосинтез белка.

Хроматин. В ядре клетки находятся молекулы ДНК, которые содержат информацию о всех признаках организма. ДНК — это двухцепочечная спираль, состоящая из сотен тысяч мономеров — нуклеотидов. Молекулы ДНК огромны, например длина отдельных молекул ДНК, выделенных из клеток человека, достигает нескольких сантиметров, а общая длина ДНК в ядре соматической клетки составляет около 1 м. Ясно, что такие гигантские структуры должны быть как-то упакованы, чтобы не перепутаться в общем ядерном пространстве. Молекулы ДНК в ядрах эукариотических клеток всегда находятся в комплексе со специальными белками — гистонами, образуя так называемый *хроматин*. Именно гистоны обеспечивают структурированность и упаковку ДНК. В активно функционирующей клетке в период между клеточными делениями молекулы ДНК находятся в расплетённом деспирализованном состоянии, и увидеть их в световой микроскоп практически невозможно. В ядре клетки, готовящейся к делению, молекулы ДНК удваиваются, сильно спирализуются, укорачиваются и приобретают компактную форму, что делает их заметными (рис. 36). В таком компактном состоянии комплекс ДНК и белков называют *хромосомами*, т. е., по сути, в химическом отношении хроматин и хромосомы — это одно и то же. В современной цитологии под хроматином понимают дисперсное (рассеянное) состояние хромосом во время выполнения клеткой своих функций и в период подготовки к митозу.

Форма хромосомы зависит от положения так называемой первичной перетяжки, или *центромеры*, — области, к которой во время де-

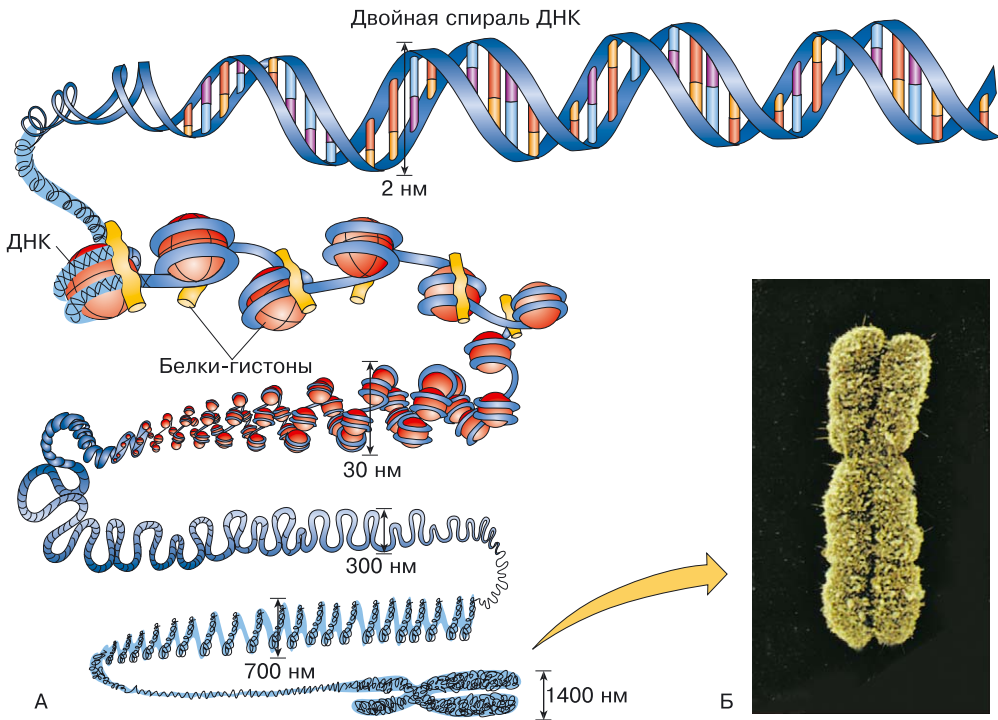


Рис. 36. Спирализация молекулы ДНК (А) и электронная фотография метафазной хромосомы (Б)

ления клетки прикрепляются нити веретена деления. Центромера делит хромосому на два плеча одинаковой или разной длины (рис. 37).

Число, размеры и форма хромосом уникальны для каждого вида. *Совокупность всех признаков хромосомного набора, характерного*

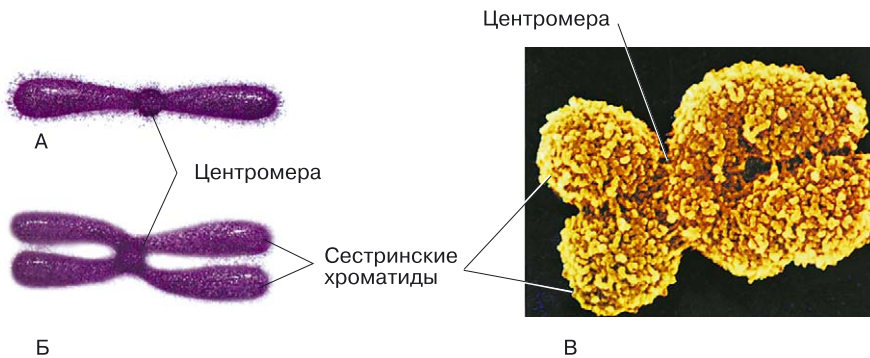


Рис. 37. Строение хромосомы: А — одиночная хромосома; Б — удвоенная хромосома, состоящая из двух сестринских хроматид; В — электронная фотография удвоенной хромосомы

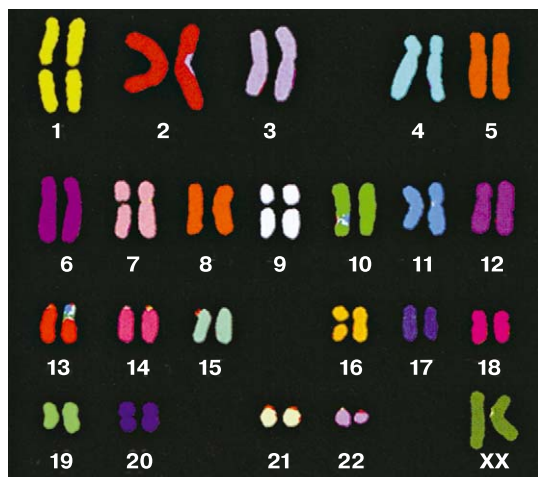


Рис. 38. Кариотип человека: 46 хромосом определённого размера и формы. Набор хромосом женщины (флуоресцентная окраска)

для того или иного вида, называют **кариотипом** (рис. 38). Число генов человека, находящихся в 23 парах хромосом, не превышает 20—25 тысяч. Эти гены определяют строение десятков тысяч типов белков, различных видов РНК и белков-ферментов, образующих жиры, углеводы и другие молекулы. Как правило, изменения структуры или количества хромосом приводят к изменению или потере части информации и, как следствие, к нарушению нормального функционирования той клетки, в ядре которой они находятся.

Клетки, составляющие ткани любого многоклеточного организма, называют **соматическими**. В соматических клетках число хромосом обычно в два раза больше, чем в зрелых **половых** клетках (гаметах). Это объясняется тем, что при оплодотворении половина хромосом приходит от материнского организма (в яйцеклетке) и половина от отцовского (в сперматозоиде), т. е. в ядре соматической клетки все хромосомы парные. Причём хромосомы каждой пары отличаются от других хромосом. Такие парные, одинаковые по форме и размеру хромосомы, несущие одинаковые гены, называют **гомологичными**. Одна из гомологичных хромосом является копией материнской хромосомы, а другая — копией отцовской. Хромосомный набор, представленный парными хромосомами, называют **двойным** или **диплоидным** и обозначают $2n$. Наличие диплоидного хромосомного набора у большинства высших организмов повышает надёжность функционирования генетического аппарата. Каждый ген, определяющий структуру того или иного белка, а в итоге влияющий на формирование того или иного признака, у таких организмов представлен в ядре каждой клетки в виде двух копий — отцовской и материнской¹.

¹ Гены, расположенные в половых хромосомах, могут находиться в одном экземпляре (если второй половой хромосомы нет или она не содержит этот ген).

При образовании половых клеток от каждой пары гомологичных хромосом в яйцеклетку или сперматозоид попадает только одна хромосома, поэтому половые клетки содержат *одинарный*, или *гаплоидный*, набор хромосом ($1n$).

Не существует зависимости между числом хромосом и уровнем организации данного вида: примитивные формы могут иметь большее число хромосом, чем высокоорганизованные, и наоборот. Например, у таких далёких видов, как прыткая ящерица и лисица, число хромосом одинаково и равно 38, у человека и ясеня — по 46 хромосом, у курицы 78, а у речного рака более 110!

Постоянство числа и структуры хромосом в клетках является необходимым условием существования вида и отдельного организма. При изучении хромосомных наборов разных особей были обнаружены виды-двойники, которые морфологически абсолютно не отличались друг от друга, но, имея разное число хромосом или отличия в их строении, не скрещивались и развивались независимо. Таковы, например, обитающие на одной территории два вида австралийских кузнечиков *Moraba scurra* и *Moraba viatica*, чьи хромосомы отличаются по своей структуре. Виды-двойники известны и в царстве растений. Внешне практически неразличимы кларкия двулопастная и кларкия языковидная из семейства кипрейных, растущие в Калифорнии, однако в кариотипе второго вида на одну пару хромосом больше.

Вопросы для повторения и задания

1. Опишите строение ядра эукариотической клетки.
2. Может ли клетка существовать без ядра? Ответ обоснуйте.
3. Что такое ядрышко? Каковы его функции?
4. Дайте характеристику хроматина. Если хроматин и хромосомы в химическом отношении представляют собой одно и то же, зачем были введены и используются два разных термина?
5. Как соотносится число хромосом в соматических и половых клетках?
6. Что такое кариотип? Дайте определение.
7. Какие хромосомы называют гомологичными?
8. Какой хромосомный набор называют гаплоидным; диплоидным?

Подумайте! Выполните!

1. Какие особенности строения ядра клетки обеспечивают транспорт веществ из ядра и обратно?
2. Достаточно ли знать число хромосом в соматической клетке, чтобы определить, о каком виде организмов идёт речь?
3. Если вам известно, что в некоей клетке в норме находится нечётное число хромосом, сможете ли вы однозначно определить, соматическая эта клетка или половая? А если чётное число хромосом? Докажите свою точку зрения.
4. Сравните число хромосом в клетках растений на разных этапах их жизненного цикла (в клетках гаметофита и спорофита).

Узнайте больше

Влияние наркотических веществ на процессы в клетке. Наркотические вещества (наркотики, токсические вещества, алкоголь, никотин) оказывают токсическое воздействие на весь организм, снижают иммунитет, нарушают работу мозга и функции жизненно важных органов (сердца, печени, поджелудочной железы, почек), делают человека уязвимым для инфекций, широко распространённых в среде наркоманов (вирусные гепатиты, сифилис, ВИЧ и другие). Систематический приём наркотических веществ приводит к необратимым сдвигам на всех уровнях функционирования организма. Причём большинство таких нарушений носит устойчивый и необратимый характер. Патологические черты проявляются на всех уровнях организации: изменяется клеточный метаболизм, нарушается баланс нейромедиаторов и их функционирование, меняется поведение и ухудшается память, нарушаются межличностные отношения и формируется иная система жизненных ценностей.

Действуя на клеточном уровне, наркотические вещества способны изменять физико-химические свойства липидных компонентов клеточной мембраны. Это нарушает барьерную функцию мембраны (снижает проницаемость) и, как следствие, отражается на всех внутриклеточных процессах. Под действием наркотических веществ нарушается функционирование белков, встроенных в клеточную мембрану, и веществ, управляющих внутриклеточными системами и влияющих на метаболизм клеток.

Большинство наркотических веществ по своей молекулярной структуре соответствуют какому-либо медиатору центральной нервной системы. В синапсах наркотические вещества подменяют собой нейромедиаторы, и медиаторы организма оказываются невостребованными. В результате клетки по механизму обратной связи сокращают синтез собственных медиаторов. Параллельно снижению запасов собственного медиатора систематический приём наркотиков провоцирует ещё один негативный процесс, который называют феноменом разрастания рецепторного поля. В ответ на избыточную стимуляцию рецепторов огромным количеством молекул наркотического вещества или его производных нервные клетки увеличивают число постсинаптических рецепторов. В случае отмены наркотика организм, не имеющий достаточного количества своего собственного медиатора, но при этом обладающий избыточным числом рецепторов, на которые должен действовать медиатор, испытывает состояние, которое называют абстинентным синдромом, или эффектом отмены.

12. Прокариотическая клетка

Вспомните!

В чём заключаются принципиальные отличия в строении прокариотических и эукариотических клеток?

Какова роль бактерий в природе?

Разнообразие прокариот. Царство прокариот в основном представлено бактериями, наиболее древними организмами нашей планеты. Возникнув более 3,5 млрд лет тому назад, прокариоты фактически

создали биосферу Земли, сформировав условия для дальнейшей эволюции организмов.

Впервые бактерии увидел под микроскопом и описал в 1683 г. голландский натуралист А. Левенгук. Размеры бактерий колеблются в пределах от 1 до 15 мкм. Отдельную бактериальную клетку можно увидеть только с помощью достаточно сложного микроскопа, поэтому их и называют микроорганизмами.

Бактерии обитают повсюду: в почве, в воде, в воздухе, на поверхности и внутри других организмов, в пищевых продуктах. Число бактерий на планете огромно, например, в 1 г плодородной почвы содержится около 2,5 млрд бактериальных клеток.

Форма клеток бактерий чрезвычайно разнообразна (рис. 39). Выделяют палочковидные — *бациллы*, сферические — *кокки*, спиралевидные — *спириллы*, имеющие форму запятой — *вибрионы*.

Бактерии играют огромную роль в существовании современной биосферы. Многие из них вызывают процессы гниения и брожения. Существуют прокариоты, живущие в симбиозе с другими организмами, например клубеньковые бактерии на корнях бобовых растений. Велика роль бактерий-симбионтов, обитающих в желудочно-кишечном тракте растительноядных животных.

К группе бактерий-паразитов относятся микроорганизмы, способные вызывать заболевания растений и животных. Пневмония, ангина, тиф, холера, чума, туберкулёз, сибирская язва и многие другие тяжёлые заболевания человека вызываются патогенными бактериями.

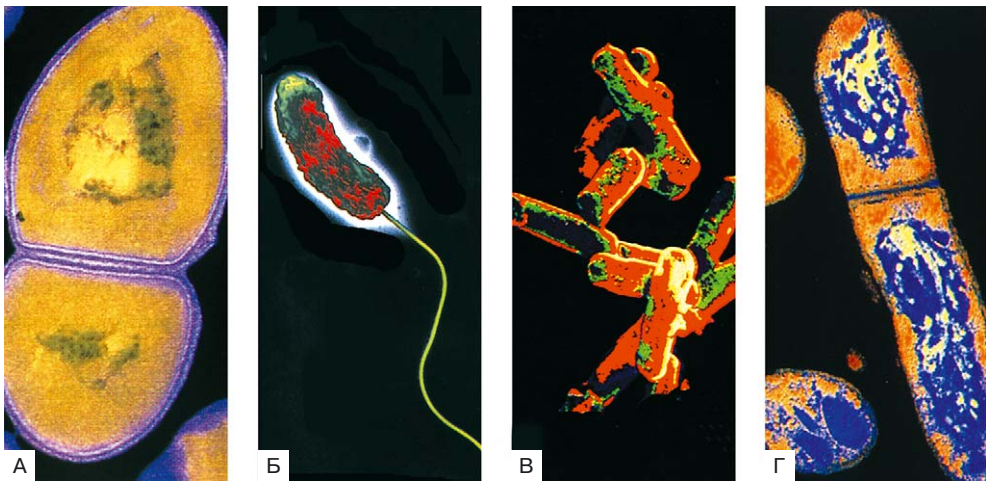


Рис. 39. Некоторые представители современных бактерий: А — стрептококк (в процессе деления); Б — холерный вибрион; В — палочковидная бактерия клостридий; Г — палочковидная микобактерия, вызывающая туберкулёз

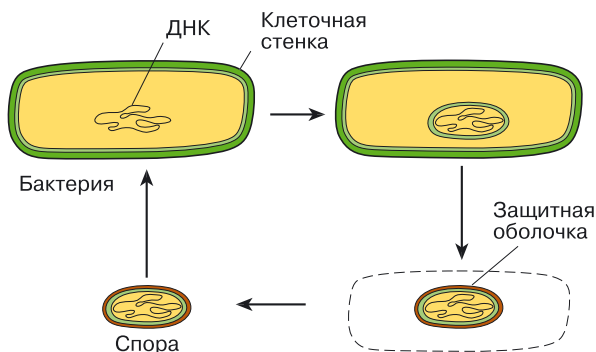


Рис. 40. Образование спор у бактерий

Многие прокариоты способны к спорообразованию (рис. 40). *Споры* возникают, как правило, в неблагоприятных условиях и представляют собой клетки с резко сниженным уровнем метаболизма. Споры покрыты защитной оболочкой, сохраняют жизнеспособность в течение сотен и даже тысяч лет и выдерживают колебания температуры от -243 до 140 °С. При наступлении благоприятных условий споры «прорастают» и дают начало новой бактериальной клетке.

Таким образом, спорообразование у прокариот является этапом жизненного цикла, обеспечивающим переживание неблагоприятных условий окружающей среды. Кроме этого в состоянии спор микроорганизмы могут легко распространяться при помощи ветра и другими способами. ■

Строение прокариотической клетки. Рассмотрим принципиальное строение бактериальной клетки (рис. 41).

Клетка окружена *мембраной* обычного строения, кнаружи от которой находится *клеточная стенка*. В центральной части цитоплазмы располагается одна *кольцевая молекула ДНК*, не ограниченная мембраной от остальной части цитоплазмы. Зона клетки, содержащая генетический материал, носит название *нуклеоид* (от лат. *nucleus* — ядро и греч. *eidos* — вид). Кроме основной кольцевой «хромосомы» бактерии обычно содержат несколько мелких молекул ДНК в форме небольших, свободно расположенных колец, так называемых *плазмид*, участвующих в обмене генетическим материалом между бактериями.

■ Споры болезнетворных бактерий, в покоем состоянии пролежавшие многие годы в земле, попадая при различных земляных работах в водоёмы, могут служить причиной возникновения вспышек инфекционных заболеваний. Так, например, споры палочки сибирской язвы сохраняют жизнеспособность в течение более 30 лет.

Учёные-микробиологи вырастили колонии микроорганизмов из спор, оказавшихся в образце льда, возраст которого превышал 10 тыс. лет.

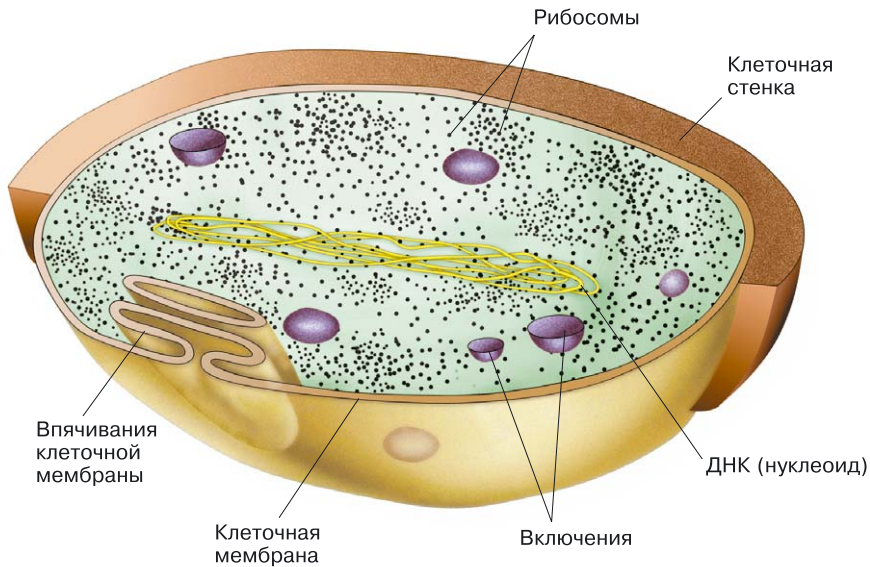


Рис. 41. Строение прокариотической клетки

В бактериальных клетках нет мембранных органоидов, характерных для эукариот (эндоплазматической сети, аппарата Гольджи, митохондрий, пластид, лизосом). Функции этих органоидов выполняют впячивания клеточной мембраны.

Обязательными органоидами, которые обеспечивают синтез белка в бактериальных клетках, являются *рибосомы*.

Поверх клеточной стенки многие бактерии выделяют слизь, образуя своеобразную *капсулу*, дополнительно защищающую бактерию от внешних воздействий.

Бактерии размножаются простым делением надвое. После редупликации кольцевой ДНК клетка удлиняется и в ней образуется поперечная перегородка. В дальнейшем дочерние клетки расходятся или остаются связанными в группы.

Сравнивая прокариотическую и эукариотическую клетки, можно отметить, что строение двухмембранных органоидов — митохондрий и пластид, имеющих собственную кольцевую ДНК и рибосомы, синтезирующие РНК и белки, — напоминает строение бактериальной клетки. Это сходство послужило основой гипотезы о симбиотическом происхождении эукариот. Несколько миллиардов лет назад древние прокариотические организмы внедрялись друг в друга, в результате чего возникал взаимовыгодный союз (§ 15, учебник 11 класса).

К прокариотическим организмам относят также цианобактерии, часто называемые синезелёными водорослями. Эти древние организ-

Таблица 3

Сравнительная характеристика клеток прокариот и эукариот

<i>Признаки</i>	<i>Прокариоты</i>	<i>Эукариоты</i>
Размер	0,1—5,0 мкм	10—100 мкм
Клеточная стенка	Есть (отличается по химическому составу от клеточной стенки растений и грибов)	У животных клеток отсутствует, у клеток растений и грибов — есть
Ядро	Нет	Есть
Генетический материал	Кольцевая ДНК, плазмиды	Множество линейных молекул ДНК, связанных с белками-гистонами; образуют хромосомы
Мембранные органоиды (ЭПС, комплекс Гольджи, лизосомы, митохондрии, пластиды)	Нет	Есть
Рибосомы	Есть; отличаются от рибосом эукариот, более мелкие	Есть; в цитоплазме — крупные, в митохондриях и пластидках — более мелкие, такие же, как у прокариот
Пищеварительные вакуоли	Нет	Есть

мы, возникшие около 3 млрд лет назад, широко распространены по всему миру. Известно около 2 тыс. видов цианобактерий. Большинство из них способны синтезировать все необходимые вещества, используя энергию света.

Вопросы для повторения и задания

1. В чём заключаются значение и экологическая роль прокариот в биосфере?
2. Каким образом безвредные микроорганизмы влияют на состояние макроорганизма (хозяина)?
3. Опишите строение бактериальной клетки. Как вы думаете, почему у бактерий ДНК не образует комплекс с белками?

4. Как размножаются бактерии?
5. В чём сущность процесса спорообразования у бактерий? Сравните споры растений и бактерий. В чём их сходство и принципиальные отличия?

Подумайте! Выполните!

1. Предположите, что произойдёт, если исчезнут все бактерии на Земле.
2. Как давно люди используют микроорганизмы?
3. В чём состоит сущность процессов пастеризации и стерилизации как меры борьбы с бактериями?
4. Что такое антибиотики? С какой целью их применяют?
5. Используя знания, полученные при изучении курса «Человек и его здоровье», расскажите об особенностях бактериальных инфекций, путях заражения, мерах профилактики и способах их лечения.
6. Организуйте и проведите исследование микроорганизмов в естественных продуктах (квашеная капуста, кисломолочные продукты, чайный гриб, дрожжевое тесто).

Узнайте больше

Для доказательства того, что данный микроорганизм вызывает конкретное заболевание, Роберт Кох сформулировал три правила. Эти правила в дальнейшем получили название «триада Коха».

- Микроб должен всегда встречаться при данной болезни, но его не должно быть у здоровых людей и при других болезнях.
- Микроб нужно выделить в «чистую» культуру — посеять на питательную среду так, чтобы в неё не попали микробы другого вида.
- Если взять микробов из чистой культуры и заразить ими лабораторных животных (мышей, кроликов и др.), то они должны заболеть той же самой болезнью.

Если все три правила выполняются, значит, исследуемый микроорганизм действительно является причиной данного заболевания.

Повторите и вспомните!

Человек

Бактериальные болезни человека. Среди бактерий существует много болезнетворных (патогенных) видов, вызывающих заболевания у человека. Впервые доказать болезнетворную роль бактерий удалось немецкому врачу и исследователю Роберту Коху. Он открыл бактерий-возбудителей многих заболеваний. В 1882 г. Кох

выделил и описал возбудителя *туберкулёза*, которого позже стали называть палочкой Коха.

Одним из самых быстротекущих бактериальных заболеваний является *чума*. От первых признаков болезни до смерти может пройти всего несколько часов. Очень опасны *газовая гангрена* и *столбняк*. Их возбудители — бактерии, живущие в почве. Заражение происходит при попадании земли в глубокие раны. Поверхностные раны и ожоги часто инфицируются стафилококками и стрептококками, вызывающими *гнойные воспаления*.

Через воздух можно заразиться *ангиной*, *коклюшем*, *дифтерией*, *туберкулёзом*. Другие болезнетворные микробы могут попасть в организм через сырую воду, немытые овощи и фрукты, грязную посуду и руки. Такие заболевания, как *холера*, *брюшной тиф*, *дизентерия*, сопровождаются расстройством работы кишечника, болями в животе, повышением температуры.

Животные

Бактериальные болезни животных. У животных бактерии вызывают такие болезни, как *сап*, *бруцеллёз*, *сибирская язва* и многие другие. Этими болезнями может заразиться и человек, поэтому, например, в районах, где скот болеет бруцеллёзом, нельзя пить сырое молоко. Споры сибирской язвы легко переносят высыхание и холод, поэтому даже спустя 100 лет захоронения животных, погибших от этого заболевания, представляют опасность.

Растения

Бактериальные болезни растений. Около 10—15% урожая всех культурных растений в настоящее время теряется из-за бактериальных болезней (*бактериозов*). Существуют бактерии, поражающие многие виды растений. Например, корневой рак развивается у винограда и разных плодовых деревьев, от мокрой гнили страдают капуста, картофель, лук, томаты. Специализированные бактерии поражают растения только одного вида или рода, вызывая такие заболевания, как бактериоз огурцов, пятнистость фасоли, кольцевую гниль и чёрную ножку картофеля, и другие.

Для борьбы с бактериозами семена, саженцы, черенки, почву в парниках и теплицах дезинфицируют; растения обрабатывают специальными препаратами или антибиотиками; заболевшие растения уничтожают, а больные побеги обрезают. Для борьбы с бактериозами важное значение имеет выведение сортов, устойчивых к заражению.

13. Реализация наследственной информации в клетке

Вспомните!

Какова структура белков и нуклеиновых кислот?
Какие типы РНК вам известны?
Где образуются субъединицы рибосом?
Какую функцию рибосомы выполняют в клетке?

Обязательным условием существования всех живых организмов является способность синтезировать белковые молекулы. Классическое определение Ф. Энгельса: «Жизнь есть способ существования белковых тел...» не потеряло своего значения в свете современных научных открытий. Белки в организме выполняют тысячи разнообразных функций, делая нас такими, какие мы есть. Мы отличаемся друг от друга ростом и цветом кожи, формой носа и цветом глаз, у каждого из нас свой темперамент и свои привычки; мы все индивидуальны и в то же время очень похожи. Наше сходство и наши различия — это сходство и различия нашего белкового состава. Каждый вид живых организмов обладает своим специфическим набором белков, который и определяет уникальность этого вида. Но при этом белки, выполняющие сходные функции в разных организмах, могут быть очень похожи, а порой практически одинаковы, кому бы они ни принадлежали. Причём меньше всего различий в белках, обеспечивающих жизненно важные физиологические функции. ■

Итак, все свойства любого организма определяются его белковым составом. Причём структура каждого белка, в свою очередь, определяется последовательностью аминокислотных остатков.

Следовательно, в итоге наследственная информация, которая передаётся из поколения в поколение, должна содержать сведения о первичной структуре белков. Информация о строении всех белков организма заключена в молекулах ДНК и называется *генетической информацией*.

Генетический код. Каким же образом последовательность номеров — нуклеотидов в цепи ДНК может определять последовательность аминокислотных

■ В митохондриях работает фермент — цитохром С, который играет важнейшую роль в обеспечении клеток энергией. В процессе эволюции появление цитохромов позволило сформировать эффективную систему энергообеспечения клетки и в итоге привело к возникновению эукариотических организмов. Поэтому не случайно строение цитохрома С одинаково во всех эукариотических клетках — у всех животных, растений и грибов.

остатков в молекуле белка? Четырьмя типами нуклеотидов должны быть закодированы 20 типов аминокислот, из которых состоят все белковые молекулы. Если бы одной аминокислоте соответствовал один нуклеотид, то четыре типа нуклеотидов могли бы определять только четыре типа аминокислот. Это явно не подходит. Если предположить, что каждый тип аминокислот определяется двумя нуклеотидами, то, имея исходно четыре типа оснований, можно закодировать 16 разных аминокислот (4×4). Этого тоже ещё недостаточно. Наконец, если каждой аминокислоте будут соответствовать три стоящих подряд нуклеотида, т. е. триплет, то таких сочетаний может быть 64 ($4 \times 4 \times 4$), и этого более чем достаточно, чтобы зашифровать 20 типов аминокислот.

Набор сочетаний из трёх нуклеотидов, кодирующих 20 типов аминокислот, входящих в состав белков, называют *генетическим кодом* (рис. 42). В настоящее время код ДНК полностью расшифрован, и мы можем говорить об определённых свойствах, характерных для этой уникальной биологической системы, обеспечивающей перевод информации с «языка» ДНК на «язык» белка.

Первое свойство кода — *триплетность*. Три стоящих подряд нуклеотида — «имя» одной аминокислоты. Один триплет не может кодировать две разные аминокислоты — код *однозначен*. Но при этом аминокислота может определяться более чем одним триплетом, т. е. генетический код *избыточен*. Любой нуклеотид может входить в со-

Нуклеотид					
1-й	2-й				3-й
	У	Ц	А	Г	
У	УУУ } Фенилаланин УУЦ } УУА } Лейцин УУГ }	УЦУ } УЦЦ } Серин УЦА } УЦГ }	УАУ } Тирозин УАЦ } УАА } стоп-кодона УАГ }	УГУ } Цистеин УГЦ } УГА } стоп-кодон УГГ } Триптофан	У Ц А Г
Ц	ЦУУ } ЦУЦ } Лейцин ЦУА } ЦУГ }	ЦЦУ } ЦЦЦ } Пролин ЦЦА } ЦЦГ }	ЦАУ } Гистидин ЦАЦ } ЦАА } Глутамин ЦАГ }	ЦГУ } ЦГЦ } Аргинин ЦГА } ЦГГ }	У Ц А Г
А	АУУ } АУЦ } Изолейцин АУА } АУГ } Метионин старт-кодон	АЦУ } АЦЦ } Треонин АЦА } АЦГ }	ААУ } Аспарагин ААЦ } ААА } Лизин ААГ }	АГУ } Серин АГЦ } АГА } Аргинин АГГ }	У Ц А Г
Г	ГУУ } ГУЦ } Валин ГУА } ГУГ }	ГЦУ } ГЦЦ } Аланин ГЦА } ГЦГ }	ГАУ } Аспарагиновая кислота ГАЦ } ГАА } Глутаминовая кислота ГАГ }	ГГУ } ГГЦ } Глицин ГГА } ГГГ }	У Ц А Г

Рис. 42. Генетический код

став только одного триплета, следовательно, код является *неперекрывающимся*. Некоторые триплеты являются своеобразными «дорожными знаками», которые определяют начало и конец отдельных генов (УАА, УАГ, УГА — стоп-кодоны, не кодируют аминокислоты, АУГ — старт-кодон, кодирует аминокислоту метионин). Таким образом, только 61 триплет несёт информацию об аминокислотах. У животных и растений, у грибов, бактерий и вирусов один и тот же триплет кодирует один и тот же тип аминокислоты, т. е. генетический код одинаков для всех живых существ. *Универсальность* кода ДНК подтверждает единство происхождения всего живого на нашей планете.

Итак, последовательность триплетов в цепи ДНК определяет последовательность аминокислот в белковой молекуле. *Ген* — это участок молекулы ДНК, кодирующий первичную структуру одной полипептидной цепи.

Транскрипция (от лат. *transcription* — переписывание). Информация о структуре белков хранится в виде ДНК в ядре клетки, а синтез белков происходит на рибосомах в цитоплазме. В качестве посредника, передающего информацию о строении определённой белковой молекулы к месту её синтеза, выступает информационная РНК.

Представьте себе библиотеку с уникальным фондом, книги из которой на дом не выдают. Для вашей работы и решения некой важной задачи необходимо получить информацию, записанную в какой-то из этих книг. Вы приходите в библиотеку, и для вас делают ксерокопию нужной главы из определённого тома. Не имея возможности забрать книгу, вы получаете копию её фрагмента и, уходя из библиотеки, уносите эту копию с собой, чтобы на основе записанных в ней сведений выполнить необходимую работу: сконструировать прибор, синтезировать какое-либо вещество, испечь пирог или сшить платье, т. е. получить результат.

Такой библиотекой является клеточное ядро, в котором хранятся уникальные тома — молекулы ДНК, ксерокопия — это иРНК, а результат — синтезированная белковая молекула.

Информационная РНК является копией одного гена. Двухцепочечная молекула ДНК раскручивается на определённом участке, водородные связи между нуклеотидами, стоящими друг напротив друга, разрываются, и на одной из цепей ДНК по принципу комплементарности синтезируется иРНК. Напротив тимина молекулы ДНК встаёт аденин молекулы РНК, напротив гуанина — цитозин, цитозина — гуанин, а напротив аденина — урацил (вспомните отличительные особенности строения РНК, § 9). В итоге формируется цепочка РНК, которая является комплементарной копией определённого фрагмента ДНК и содержит информацию о строении определённого белка. Процесс синтеза РНК на ДНК называют *транскрипцией* (рис. 43).

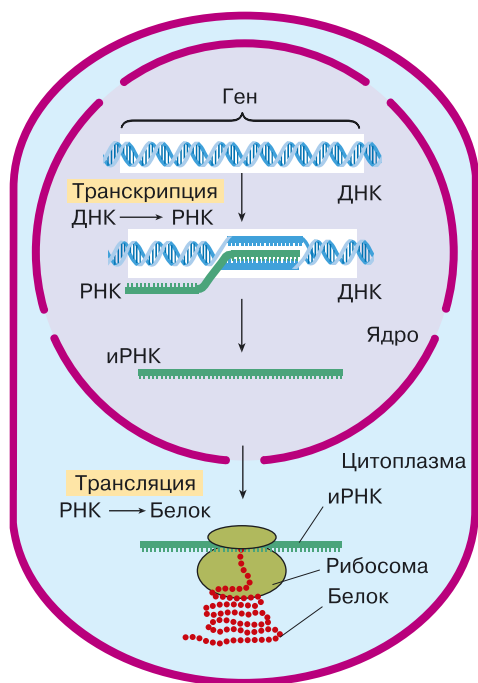


Рис. 43. Взаимосвязь между процессами транскрипции и трансляции

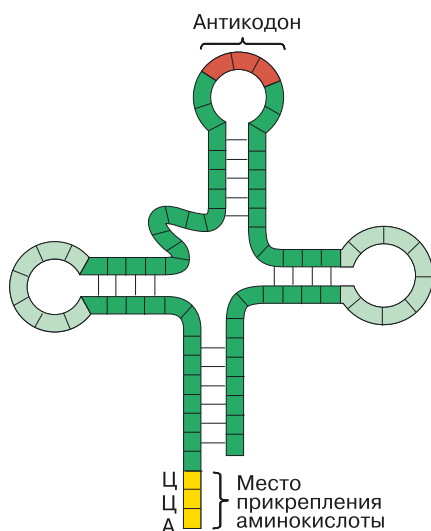


Рис. 44. Строение тРНК

Трансляция (от лат. *translation* — передача). Молекулы иРНК выходят через ядерные поры в цитоплазму, где начинается второй этап реализации наследственной информации — перевод информации с «языка» РНК на «язык» белка. Процесс синтеза белка называют *трансляцией* (см. рис. 43). Для осуществления этого процесса информации о структуре полипептидной цепи, записанной с помощью генетического кода в молекулах иРНК, явно недостаточно. Мы не получим вещественного результата, имея на руках только «листки ксерокопии». Необходимы аминокислоты, из которых, согласно имеющемуся плану, будут собираться молекулы белка. Нужны структуры, в которых непосредственно будет происходить синтез, — рибосомы. Не обойтись также без ферментов, осуществляющих эту сборку, и молекул АТФ, которые обеспечивают этот процесс энергией. Только при выполнении всех этих условий белок будет синтезирован.

Молекула иРНК соединяется с рибосомой тем концом, с которого должен начаться синтез белка. Аминокислоты, необходимые для сборки белка, доставляются к рибосоме специальными транспортными РНК (тРНК). Каждая тРНК может переносить только «свою» аминокислоту, имя которой определяется триплетом нуклеотидов — антикодомом, расположенным в цен-

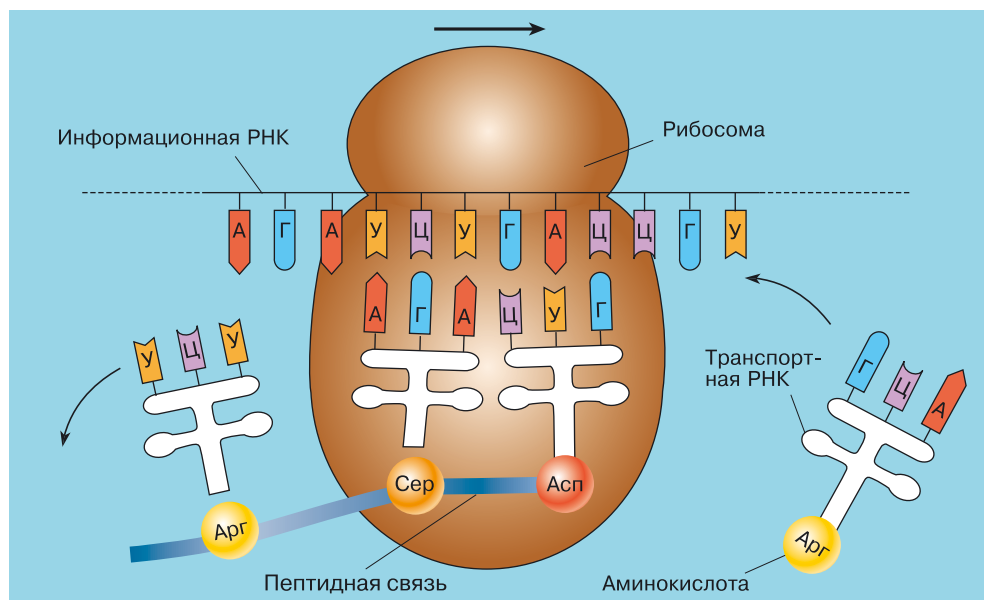


Рис. 45. Трансляция

тральной петле молекулы тРНК (рис. 44). Если антикодон какой-либо тРНК окажется комплементарным триплету иРНК, находящемуся в данный момент в контакте с рибосомой, произойдёт узнавание и временное связывание тРНК и иРНК (рис. 45). Одновременно на рибосоме находится две тРНК с соответствующими аминокислотами. Расположенная на рисунке слева аминокислота серин (сер) отделяется от своей тРНК и образует пептидную связь с аминокислотой аспарагин (асп).

Освобождённая тРНК (АГА) уходит в цитоплазму, а рибосома делает «шаг», сдвигаясь на один триплет по цепи иРНК. К этому новому триплету (ЦГУ) подойдёт другая тРНК и принесёт аминокислоту аргинин (арг), которая присоединится к растущему белку. Так, шаг за шагом рибосома пройдёт по всей иРНК, обеспечивая считывание закодированной в ней информации. Таким образом, включение аминокислот в растущую белковую цепь происходит строго последовательно в соответствии с последовательностью расположения триплетов в цепи иРНК.

Процессы удвоения ДНК (§ 9), синтеза РНК и белков в неживой природе не встречаются. Они относятся к так называемым реакциям *матричного синтеза*. Матрицами, т. е. теми молекулами, которые служат основой для получения множества копий, являются ДНК и РНК. Матричный тип реакций лежит в основе способности живых организмов воспроизводить себе подобных.

Образование в клетках других органических молекул, таких как жиры, углеводы, витамины и т. д., связано с действием белков-катализаторов (ферментов). Например, ферменты, обеспечивающие синтез жиров у человека, «делают» человеческие липиды, а аналогичные катализаторы у подсолнечника — подсолнечное масло. Ферменты углеводного обмена у животных образуют резервное вещество гликоген, а у растений при избытке глюкозы синтезируется крахмал.

Вопросы для повторения и задания

1. Вспомните полное определение понятия «жизнь».
2. Назовите основные свойства генетического кода и поясните их значение.
3. Какие процессы лежат в основе передачи наследственной информации из поколения в поколение и из ядра в цитоплазму, к месту синтеза белка?
4. Где синтезируются все виды рибонуклеиновых кислот?
5. Расскажите, где происходит синтез белка и как он осуществляется.
6. Рассмотрите рис. 45. Определите, в каком направлении — справа налево или слева направо — движется относительно иРНК изображённая на рисунке рибосома. Докажите свою точку зрения.

Подумайте! Выполните!

1. Почему углеводы не могут выполнять функцию хранения информации?
2. Каким образом реализуется наследственная информация о структуре и функциях небелковых молекул, синтезируемых в клетке?
3. При каком структурном состоянии молекулы ДНК могут быть источниками генетической информации?
4. Какие особенности строения молекул РНК обеспечивают их функцию переноса информации о структуре белка от хромосом к месту его синтеза?
5. Объясните, почему молекула ДНК не могла быть построена из нуклеотидов трёх типов.
6. Приведите примеры технологических процессов, в основе которых лежит матричный синтез.
7. Представьте, что в ходе некоего эксперимента для синтеза белка были взяты тРНК из клеток крокодила, аминокислоты мартышки, АТФ дрозда, иРНК белого медведя, необходимые ферменты квакши и рибосомы щуки. Чей белок был в итоге синтезирован? Объясните свою точку зрения.

14. Неклеточная форма жизни: вирусы

Вспомните!

Чем вирусы отличаются от всех остальных живых существ?

Почему существование вирусов не противоречит основным положениям клеточной теории?

Какие вы знаете вирусные заболевания?

В 1892 г. российский ботаник Дмитрий Иосифович Ивановский, изучая мозаичную болезнь растений табака, обнаружил, что при пропускании сока, выделенного из больного растения, через фильтры, задерживающие бактерий, жидкость сохраняла способность вызывать заболевания у здоровых растений. Возбудитель болезни был столь мал, что его и подобные ему структуры, получившие в дальнейшем название *вирусы* (от лат. *virus* — яд), стало возможно изучать только после изобретения электронного микроскопа.

Вирусы — это неклеточная форма жизни. Считая признаком живого наличие клеточного строения, большинство учёных тем не менее относят вирусы к живым организмам, потому что их существование неразрывно связано с клеткой. Являясь внутриклеточными паразитами, вне клетки вирусы не способны к самовоспроизведению и осуществлению процессов обмена веществ.

Строение вирусов. Вирусы имеют очень простое строение (рис. 46). Каждый вирус состоит из нуклеиновой кислоты (или ДНК, или РНК) и белка. Нуклеиновая кислота является *генетическим материалом* вируса. Она окружена защитной белковой оболочкой — *капсидом*. Внутри капсида могут также находиться собственные вирусные ферменты. Некоторые вирусы, например вирус гриппа и ВИЧ, имеют *дополнительную оболочку*, которая образуется из клеточной мембраны клетки-хозяина. Капсид вируса, состоящий из многих белковых молекул, обладает высокой степенью симметрии, имея, как прави-

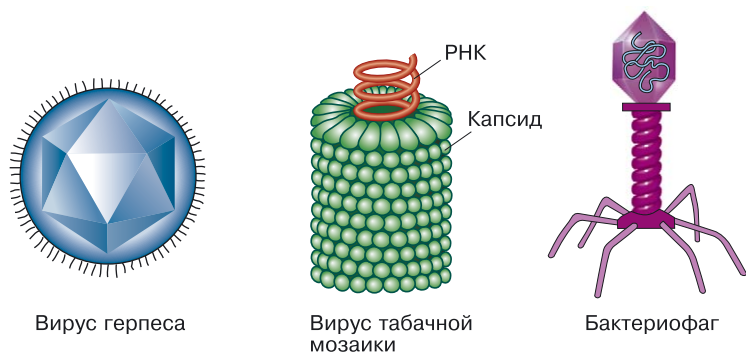


Рис. 46. Вирусы: строение и разнообразие

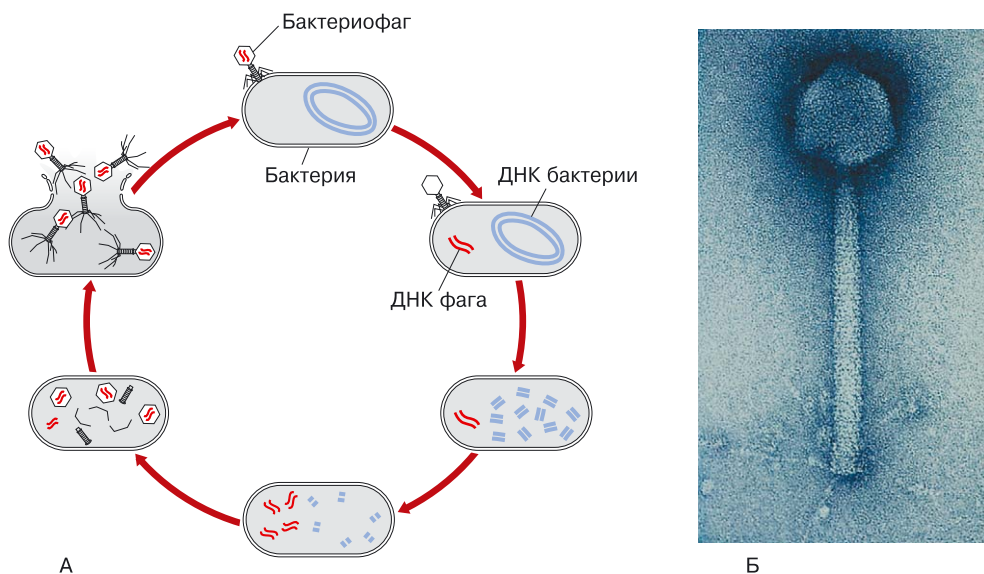


Рис. 47. Жизненный цикл вирусов (А) и электронная фотография бактериофага (Б)

ло, спиральную или многогранную форму. Эта особенность строения позволяет отдельным белкам вируса объединяться в полную вирусную частицу путём самосборки.

Размножение вирусов. Ни один из известных на сегодняшний день вирусов не способен к самостоятельному существованию. Обычно вирус сначала связывается с поверхностью клетки-хозяина, а затем или проникает внутрь целиком (путём эндоцитоза), или с помощью специальных приспособлений вводит в клетку свою нуклеиновую кислоту (рис. 47, 48). Попад в клетку, генетический материал

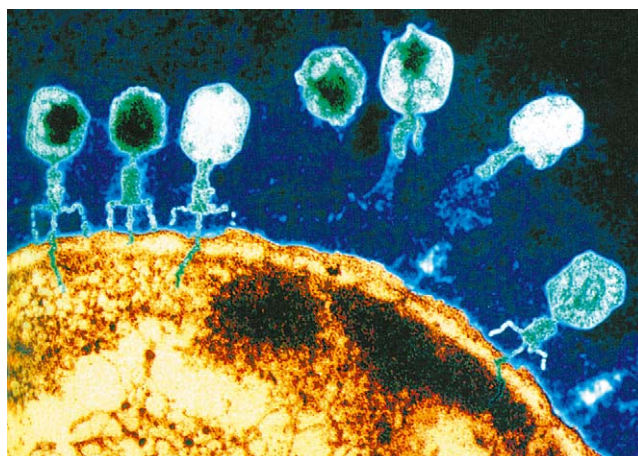


Рис. 48. Бактериофаги на поверхности клетки-хозяина (электронная фотография)

вируса взаимодействует с ДНК хозяина таким образом, что клетка сама начинает синтезировать необходимые вирусу белки. Одновременно происходит копирование наследственного материала паразита, и в цитоплазме заражённой клетки начинается самосборка новых вирусных частиц. Готовые вирусные частицы покидают клетку или постепенно, не вызывая её гибели, но изменяя работоспособность, или одновременно в большом количестве, что приводит к разрушению клетки.

Вирусы как возбудители болезней. Вирусы способны поражать и эукариотические, и прокариотические клетки. Вирусы, инфицирующие бактерий, называют *бактериофагами*. Вирусы вызывают множество различных заболеваний у животных, растений и грибов, причём каждый из них имеет своего собственного специфического хозяина. Вирус табачной мозаики, например, поражает растения табака, вызывая образование на листьях характерных пятен — это места отмирания тканей. Вирус оспы поражает только эпителиальные клетки, а вирус полиомиелита — клетки нервной ткани. Вирусными заболеваниями человека являются также грипп, корь, краснуха, гепатит, ветряная оспа, бешенство, герпес, СПИД и многие другие.

СПИД. Вирус иммунодефицита человека (ВИЧ), вызывающий синдром приобретённого иммунодефицита (СПИД), впервые был выделен в США в 1981 г. К 2000 г. число инфицированных этим вирусом уже превысило 30 млн человек. В настоящее время болезнь очень быстро распространяется в Азии, Африке, а также в Центральной и Восточной Европе.

ВИЧ относят к группе *ретровирусов*, генетическим материалом которых является РНК (рис. 49). Обычно перенос генетической ин-

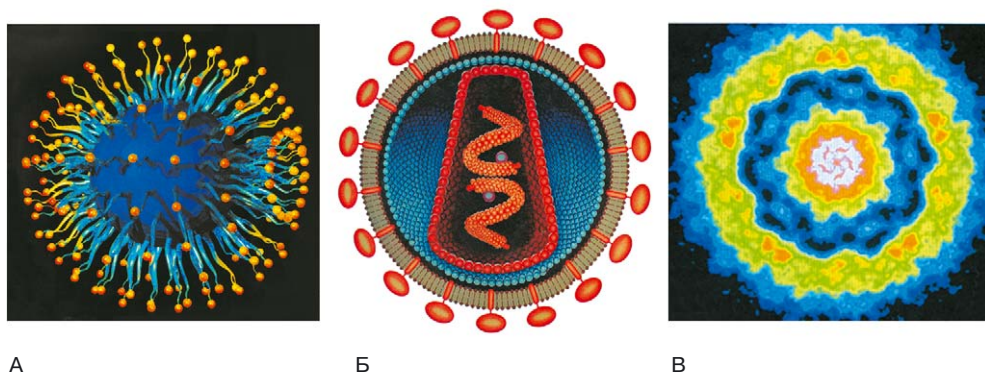


Рис. 49. Вирус иммунодефицита человека (ВИЧ):

А — модель вируса; Б — схема строения; В — электронная фотография

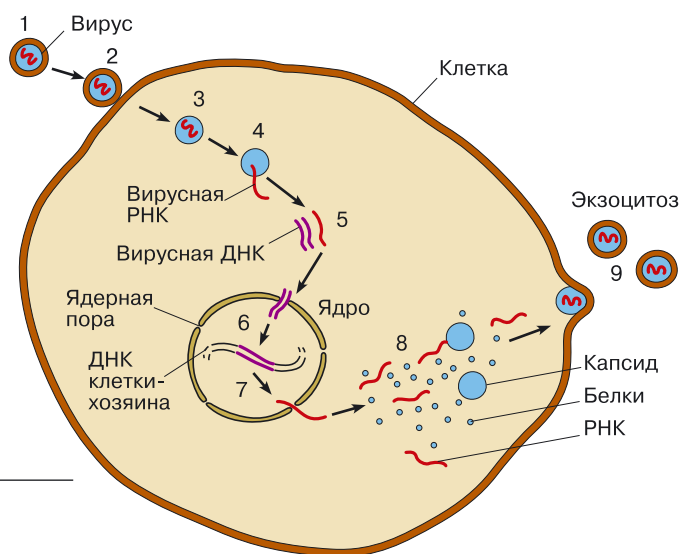


Рис. 50. Жизненный цикл вируса иммунодефицита человека (ВИЧ)

формации в клетке идёт в направлении от ДНК к РНК (транскрипция). У ретровирусов при попадании в клетку-хозяина происходит противоположный процесс, так называемая обратная транскрипция, при которой на основе вирусной РНК синтезируется ДНК, которая затем встраивается в ДНК хозяина.

Рассмотрим жизненный цикл вируса иммунодефицита (рис. 50). ВИЧ инфицирует и уничтожает лейкоциты, в том числе так называемые лимфоциты-хелперы (от англ. *help* — помощь), которые обеспечивают формирование иммунитета человека. После проникновения ВИЧ в клетку путём эндоцитоза (рис. 50, 1—3) вирусная РНК выходит в цитоплазму (рис. 50, 4), где на её основе с помощью специального фермента синтезируется вирусная ДНК (рис. 50, 5). Последняя проникает через поры в клеточное ядро и встраивается в ДНК хозяина (рис. 50, 6). В дальнейшем при делении клетки одновременно с копированием клеточной ДНК происходит и копирование встроенной вирусной ДНК, в результате чего количество заражённых лимфоцитов быстро растёт. Этот процесс может продолжаться в течение многих лет. По истечении некоторого времени вирус вновь активизируется (рис. 50, 7) и «заставляет» клетку работать на себя, синтезируя вирусные РНК и белки (рис. 50, 8), из которых собираются новые вирусные частицы, покидающие клетку-хозяина (рис. 50, 9). Причины, по которым вирус спустя 5—6 лет скрытого существования переходит в активную форму, неизвестны. Новые вирусные частицы заражают ещё здоровые лимфоциты. В результате иммунная система разрушается, лимфоциты перестают узнавать чужеродные белки и болезнетворные бактерии, попадающие в организм, и чело-

век становится уязвимым для любых инфекционных заболеваний. Ежегодно у 1—2% ВИЧ-инфицированных развивается СПИД. Больные СПИДом подвержены различным бактериальным, вирусным и грибковым инфекциям, которые и становятся причиной их смерти. Более 60% заболевших СПИДом погибают от пневмонии, с которой обычно успешно справляется иммунная система здорового человека. У многих носителей ВИЧ развиваются злокачественные опухоли, а при заражении токсоплазмозом¹ поражаются большие полушария головного мозга, что в дальнейшем может привести к параличу² и коме³.

Обычно ВИЧ передаётся вместе с кровью или спермой. В 90% случаев заражение происходит при половом контакте, при этом риск заражения увеличивается пропорционально увеличению числа половых партнёров. Многократное использование одного и того же шприца приводит к быстрому распространению вируса среди наркоманов. ВИЧ может попасть в организм человека при контакте с кровью больного, например при обработке ран. Существует вероятность заражения при переливании крови, не прошедшей тестирование на присутствие ВИЧ. От ВИЧ-инфицированной матери вирус может через плаценту попасть в кровь плода или передаться новорождённому при кормлении грудным молоком. Но воздушно-капельным путём и при рукопожатии этот вирус не распространяется.

ВИЧ — это вирус, поэтому антибиотики, которые используют при лечении бактериальных инфекций, в данном случае бессильны. Современная медицина разрабатывает лекарственные средства, которые подавляют репликацию ВИЧ, но их использование имеет много побочных эффектов и перспективы их применения пока неясны. Сложности в разработке лекарств и вакцин против ВИЧ связаны с высокой частотой мутаций, возникающих в процессе синтеза молекул вирусных ДНК в клетке хозяина (см. рис. 50, 5). Тем не менее существующие методы лечения способны продлить жизнь носителей ВИЧ на десятки лет.

¹ *Токсоплазмоз* — паразитарное заболевание человека и животных, вызываемое простейшим — токсоплазмой, принадлежащим к типу Апикомплекса (бывш. Споровики).

² *Паралич* (от греч. *paralysis* — развязывать, расслаблять) — расстройство двигательной функции в виде полного отсутствия движений в мышце или группе мышц.

³ *Кома* (от греч. *koma* — глубокий сон) — состояние глубокого угнетения функций центральной нервной системы, характеризуется полной потерей сознания, утратой реакции на внешние раздражители и расстройством регуляции жизненно важных функций.

Пока не существует эффективных способов лечения этого заболевания, лучшим способом защиты от СПИДа является соблюдение мер предосторожности:

- следует избегать случайных половых связей, а при половых контактах изолировать себя от спермы и крови партнёра при помощи презерватива;

- в больницах, стоматологических клиниках, поликлиниках и косметических салонах необходимо использовать одноразовые шприцы, а инструменты многоразового применения тщательно стерилизовать, соблюдая все необходимые условия;

- донорскую кровь следует проверять на наличие антител к ВИЧ.

Вирусы как переносчики генетической информации. Существует гипотеза, что вирусы — это генетический материал, некогда покинувший клетку, но сохранивший способность к самовоспроизведению при возвращении в неё. Следовательно, в процессе эволюции вирусы возникли позже появления клеточной формы, а любое вирусное заражение надо рассматривать как получение клеткой некой чужеродной генетической информации.

Многие вирусы способны не только привносить в организм хозяина свою наследственную информацию, но и, встраиваясь в ДНК хозяина, изменять работу клеточных генов. В процессе копирования вирусной ДНК иногда происходит частичное копирование и генетического материала хозяина. В этом случае новые собранные вирусные частицы, покидающие клетку, будут уносить с собой копию некой наследственной информации хозяина. Поэтому в настоящее время вирусы рассматривают не только как возбудителей инфекционных болезней, но и как переносчиков генов между организмами. Учёные считают, что такой перенос генов играл важную роль в эволюции бактерий и является довольно распространённым у некоторых одноклеточных эукариот.

Вопросы для повторения и задания

1. Как устроены вирусы?
2. Каков принцип взаимодействия вируса и клетки?
3. Опишите процесс проникновения вируса в клетку.
4. В чём проявляется действие вирусов на клетку?
5. Используя знания о путях распространения вирусных и бактериальных инфекций, предложите пути предотвращения инфекционных заболеваний.
6. Предложите несколько разных классификаций вирусов. Какие критерии вы положили в основу этих классификаций? Сравните свои классификации и классификации, которые создали ваши одноклассники.

Подумайте! Выполните!

1. Объясните, почему вирус может проявить свойства живого организма, только внедрившись в живую клетку.
2. Почему вирусные заболевания имеют характер эпидемий? Охарактеризуйте меры борьбы с вирусными инфекциями.
3. Выскажите своё мнение о времени появления на Земле вирусов в историческом прошлом, учитывая, что вирусы могут размножаться только в живых клетках.
4. Объясните, почему в середине XX в. вирусы стали одним из главных объектов экспериментальных генетических исследований.
5. Какие сложности возникают при попытках создать вакцину против ВИЧ-инфекции?
6. Объясните, почему перенос вирусами генетического материала от одного организма к другому называют горизонтальным переносом. Как тогда, по вашему мнению, называют передачу генов от родителей детям?
7. В разные годы как минимум семь Нобелевских премий по физиологии и медицине и три Нобелевских премии по химии были вручены за исследования, непосредственно связанные с изучением вирусов. Используя дополнительную литературу и ресурсы Интернета, подготовьте сообщение или презентацию о современных достижениях в области исследования вирусов.
8. Создайте портфолио¹ по теме «Роль вирусов в жизни организмов и эволюции органического мира на Земле».

Узнайте больше

Вироиды. В природе обнаружены инфекционные агенты гораздо меньше вирусов — *вироиды*. Они состоят только из молекулы кольцевой РНК и лишены каких-либо оболочек. Самые малые вироиды имеют длину всего 220 нуклеотидов. Вироиды обнаружены в клетках многих растений. Считается, что они представляют собой вырезанные участки иРНК, которые приобрели способность к репликации. При этом они не работают, как иРНК, и не кодируют белки.

Попадая в клетки растений, вироиды вмешиваются в работу генома клетки-хозяина и вызывают серьёзные заболевания растений. Так погибли миллионы кокосовых пальм на Филиппинах во второй половине XX в. Периодически от вироидов серьёзно страдают посадки картофеля, citrusовых, огурцов, декоративных цветов и других диких и сельскохозяйственных растений. В животных клетках и у человека вироиды пока не обнаружены.

Вирусы и рак. Многие вирусы способны, проникая в клетки организма, встраивать свой геном в геном клетки, вызывая тем самым серьёзные нарушения

¹ В портфолио могут входить тексты из справочников, словарей, научно-популярной литературы, загадки, пословицы, схемы, микрофотографии, статьи журналов и газет, рисунки, список терминов и их объяснения, материалы сайтов Интернета.

в работе генетического аппарата нормальных клеток. В результате может произойти превращение нормальной клетки в раковую.

У многих животных (рыб, амфибий, птиц, млекопитающих) обнаружены десятки вирусов, вызывающих раковые заболевания. У человека обнаружены целые группы онковирусов. Полагают, что около 15% опухолей человека провоцируются вирусной инфекцией.

Повторите и вспомните!

Человек

Иммунитет. Белки или полисахариды вирусов, попадающих в организм, являются антигенами. *Антигены* — это любые чужеродные вещества, которые при проникновении в организм воспринимаются как генетически чужеродные и вызывают иммунную реакцию. Иммунитетом называют способность организмов защищаться от болезнетворных микроорганизмов, вирусов и иных чужеродных тел и веществ, сохраняя тем самым постоянство своего состава и свойств.

Существует несколько видов иммунитета. Если иммунитет существует или возникает у человека без каких-либо специальных воздействий, его называют *естественным*. Иммунитет, полученный путём использования медицинских средств, носит название *искусственного*.

Естественный врождённый иммунитет одинаков у всех особей вида и передаётся по наследству, т. е. генетически закреплён. Так, человек не болеет многими болезнями, которые встречаются у животных. Например, человек никогда не заболеет собачьей чумкой, так же как собака не заболеет гриппом.

Естественный приобретённый иммунитет отличается у разных людей и не передаётся по наследству, поэтому его ещё называют индивидуальным иммунитетом. *Пассивный естественный иммунитет* обеспечивают антитела, полученные ребёнком от матери вместе с грудным молоком. *Активный естественный иммунитет* формируется после перенесённого заболевания. Такой иммунитет также называют постинфекционным. Он сохраняется в организме в течение длительного времени. После некоторых заболеваний иммунитет сохраняется пожизненно, например после кори, краснухи, скарлатины и других «детских болезней».

Искусственный иммунитет может быть только приобретённым. *Искусственный активный иммунитет* формируется в ответ на введение в организм вакцины. *Вакцина* — это препарат из ослабленных или убитых возбудителей заболевания, их фраг-

ментов или токсинов. При введении вакцины (прививке) в организме в слабой форме развивается иммунный ответ, в результате которого в крови образуются специальные клетки, способные синтезировать антитела к данному возбудителю. *Антитела* — это сложные белки (иммуноглобулины). Они способны связываться с антигенами и обезвреживать их. При связывании антигена образуется неактивный комплекс «антиген—антитело», который может быть уничтожен лейкоцитами.

Искусственный активный иммунитет стойкий, сохраняется годами. Впервые систематические прививки против оспы стали использовать с начала XIX в. после работ английского врача Эдварда Дженнера (1749—1823). Его дело продолжил французский микробиолог Луи Пастер (1822—1895). Он ввёл термин «вакцина» и применял вакцинацию в медицинской практике.

Искусственный пассивный иммунитет возникает при введении человеку лечебной *сыворотки*, которая уже содержит готовые антитела против возбудителя. Это особенно важно в том случае, если заражение уже произошло. Пассивный иммунитет нестойкий, сохраняется в течение 4—6 недель, на протяжении которых антитела постепенно разрушаются.

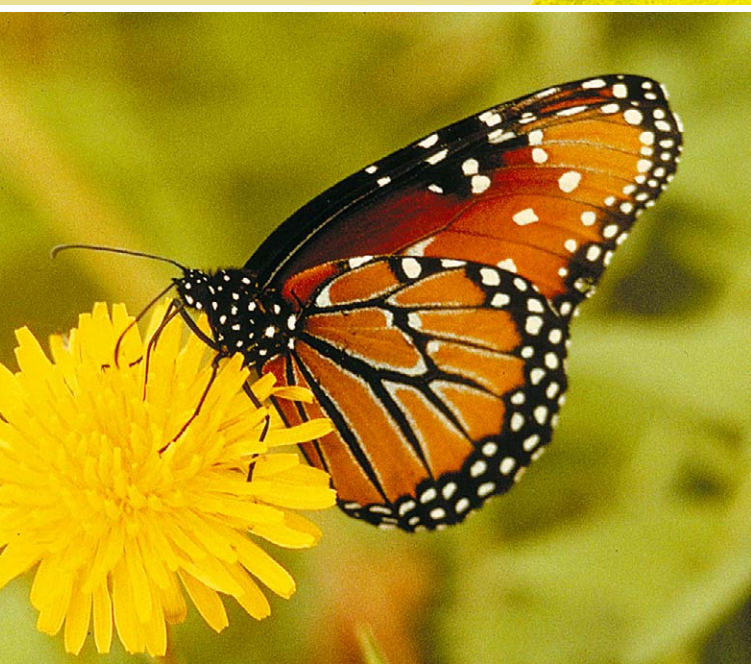
Ваша будущая профессия

1. Докажите, что базовые знания о процессах, происходящих на молекулярном и клеточном уровнях организации живого, необходимы не только биологам, но и специалистам в других областях естественных наук.
2. Какие профессии в современном обществе требуют знания строения и особенностей жизнедеятельности прокариотических организмов? Подготовьте небольшое (не более 7—10 предложений) сообщение о той профессии, которая вас наиболее впечатлила. Объясните свой выбор.
3. «Эти специалисты нужны в ветеринарных и медицинских научных институтах, академических институтах, на предприятиях, связанных с биотехнологиями. Они не останутся без работы в лабораториях поликлиник и больниц, на агрономических селекционных станциях, в ветеринарных лабораториях и больницах. Порой именно они могут поставить наиболее достоверный и точный диагноз. Их исследования незаменимы для ранней диагностики онкологических заболеваний». Предположите, о людях какой специальности идёт речь в этих предложениях. Докажите свою точку зрения.

ГЛАВА

3

Организм





ТЕМЫ

Организм — единое целое.
Многообразие организмов

Обмен веществ и превращение энергии

Размножение

Индивидуальное
развитие (онтогенез)

Наследственность и изменчивость

Основы селекции. Биотехнология

Мысленно поднимаясь по лестнице уровней организации живой материи, мы приступаем к изучению нового, более высокого уровня — организменного. **Организм** (от лат. *organisme* — устраиваю, придаю стройный вид) — **это биологическая система**, состоящая из взаимосвязанных элементов, функционирующая как единое целое. Трактуя это определение в широком смысле, организмом можно считать не только отдельного индивидуума, но и семью, популяцию, экосистему. Мир живых существ — это мир биологических систем разного уровня сложности. Но нас с вами на данном этапе интересует более узкое определение этого понятия — **организм как отдельная особь**.

15. Организм — единое целое. Жизнедеятельность и регуляция функций организма

Вспомните!

В чём сходство и принципиальное отличие между одноклеточными и многоклеточными организмами?

Какие одноклеточные организмы вам известны?

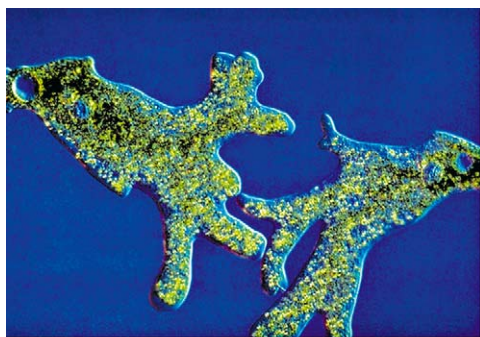
Особь, или индивидуум (от лат. *individuum* — неделимое), — это неделимая единица жизни. Самый главный признак любого живого организма — строгая взаимозависимость отдельных его частей. Разделение особи на части приведёт к потере её целостной уникальной индивидуальности. Человек, птица, дерево — это особи, но печень, мозг, крыло, клюв, лист или ветка не обладают признаками целого организма. Организм — это не простая сумма клеток, тканей и органов. Лишь строгое соподчинение и взаимодействие формируют новое единство и придают особи черты и свойства, отсутствующие у отдельных её компонентов.

Любой живой организм имеет клеточное строение. Исключение, как нам уже известно, составляют вирусы, но и они не способны существовать вне клеток (§ 14). Учёные до сих пор спорят, относить ли вирусы к живым существам. С одной стороны, они обладают свойствами живой материи — наследственностью и изменчивостью, но в то же время не способны к самостоятельному существованию и размножению, проявляя эти свойства только внутри клеток.

Многообразие живых существ нашей планеты, образующих единую биосферу, огромно и с трудом поддаётся описанию и подсчёту. По самым приблизительным оценкам, сейчас на Земле обитает несколько миллионов видов живых организмов. Только беспозвоночных насчитывают более 1,5 млн видов, при этом каждый год описывают сотни новых видов, и учёные считают, что большинство беспозвоночных животных, в основном пауков, насекомых и круглых червей, до сих пор неизвестны науке. Более 350 тыс. видов растений, около 100 тыс. видов грибов, огромное число видов бактерий населяют нашу планету, создавая то неповторимое единство, частью которого являемся и мы с вами.

Одноклеточные организмы. К этой группе относят организмы, тело которых состоит из одной клетки, т. е. для них клеточный и организменный уровни едины. Одноклеточные прокариоты — это бактерии и синезелёные водоросли (цианобактерии). Одноклеточные эукариоты встречаются во всех трёх царствах эукариот. У грибов — это одноклеточные дрожжи, в царстве растений — одноклеточные зелёные водоросли (например, хламидомонада и хлорелла), среди

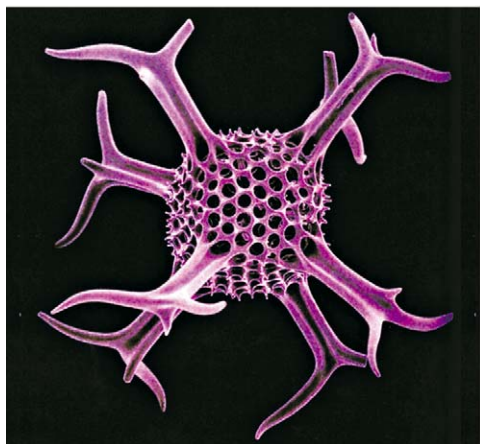
животных — более 40 тыс. видов простейших, например амёбы и инфузории, споровики и фораминиферы (рис. 51). Клетки одноклеточных обладают всеми признаками самостоятельных организмов и способны осуществлять все функции, необходимые для жизнедеятельности. В отличие от клеток многоклеточных организмов, у одноклеточных существуют органоиды специального назначения, помогающие им выполнять все необходимые функции. Способность к движению и захвату пищи обеспечивают ложноножки, жгутики и реснички. Для реализации выделительной функции существуют сократительные вакуоли. Свойство живых организмов — раздражимость обеспечивают специализированные внутриклеточные структуры, например светочувствительный глазок у эвглены зелёной позволяет ей определять направление движения к источнику света.



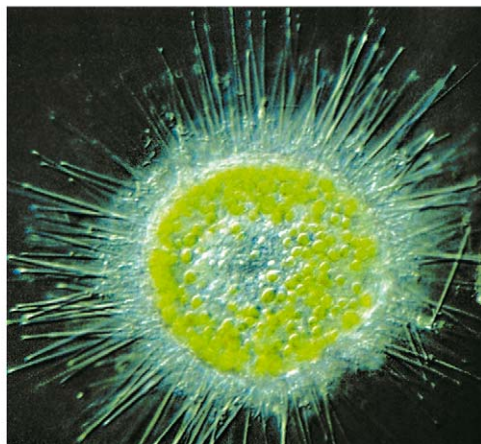
А



Б



В



Г

Рис. 51. Многообразие одноклеточных организмов:

А — амёба; Б — зелёные водоросли; В — радиолярия; Г — солнечник

Клетки одноклеточных устроены гораздо более сложно, нежели клетки, входящие в состав многоклеточного организма.

Многоклеточные организмы. В многоклеточном организме клетки специализированы, т. е. они способны выполнять только какую-то определённую функцию и не могут самостоятельно существовать вне целого организма. У представителя кишечнорастворимых — гидры — организм состоит из семи типов клеток, а организм человека образован клетками более ста типов. Совокупность клеток различных типов и межклеточного вещества, связанных выполнением ряда одинаковых функций, называют *тканью*. Ткани и органы характерны не для всех многоклеточных организмов. Так, у кишечнополостных и губок, у водорослей разные типы клеток не объединены в ткани, не образуют органы и системы органов. У высших растений и у большинства животных усложняется внутреннее строение и появляются специализированные системы органов, выполняющие отдельные функции. Специализация клеток у многоклеточных организмов повышает эффективность работы всего организма в целом, обеспечивает более сложные формы поведения и увеличивает продолжительность жизни.

Колонии одноклеточных организмов. Существует группа организмов, занимающая промежуточное положение между одноклеточными и многоклеточными организмами. Колониальные организмы — это совокупность одноклеточных особей, ведущих совместный образ жизни. Типичным представителем таких организмов является вольвокс — заполненный слизью шар, поверхность которого образована тысячами клеток (рис. 52). Двухжгутиковые клетки колонии

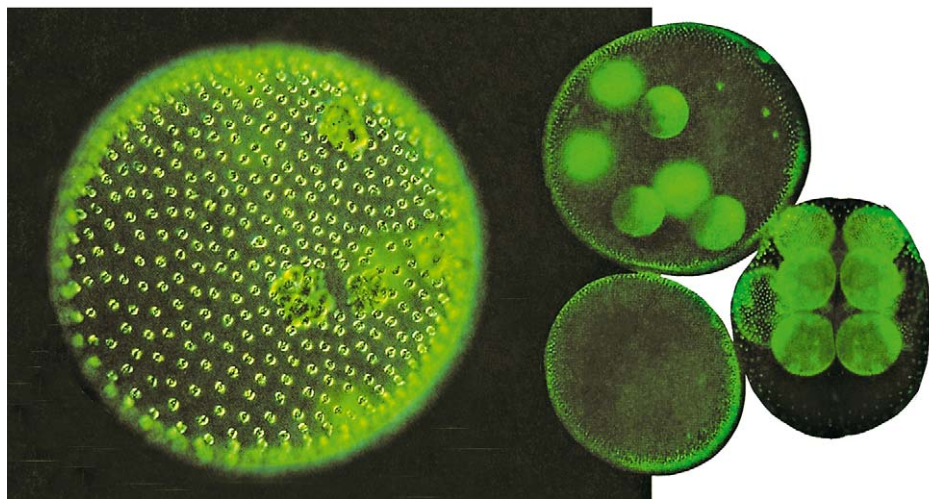


Рис. 52. Вольвокс

связаны друг с другом цитоплазматическими мостиками, что позволяет вольвоксу согласованно работать жгутиками и плыть в направлении источника света. Отдельные клетки вольвокса уходят внутрь шара, образуя там «дочерние» молодые колонии. Новые колонии растут, порой образуя внутри себя уже «внучатые» колонии. Спустя некоторое время материнская колония лопаётся и погибает, а «дочерние» и «внучатые» колонии выходят наружу.

Жизнедеятельность и регуляция функций организма. Для любого организма характерны обмен веществ и превращение энергии, рост, развитие и размножение, наследственность и изменчивость. Эти свойства, а также основные процессы, происходящие в организме, мы подробно рассмотрим в последующих параграфах этой главы.

Одно из главных свойств живого организма — способность к саморегуляции. Благодаря этой способности организмы сохраняют динамическое постоянство параметров внутренней среды, т. е. поддерживают гомеостаз.

Гомеостаз — это динамическое равновесие. Любой параметр жизнедеятельности в организме колеблется в определённых пределах. Например, средняя температура тела у человека — около 37 °С, но под утро температура снижается на 1—1,5 °С. В случае инфекционной болезни температура может увеличиться, но не должна превысить 42 °С, так как высокая температура вызывает денатурацию белков и нарушает течение биохимических реакций.

У животных организмов, к которым относится и человек, в оптимальных пределах постоянно поддерживаются частота сердечных сокращений, давление крови, концентрация в крови гормонов, O_2 и CO_2 , температура тела, кислотность (рН), водно-солевой баланс и многие другие параметры. Такое поддержание гомеостаза обеспечивают три регуляторные системы: нервная, эндокринная и иммунная. Рассмотрим, например, как организмы поддерживают температурный режим. Гормоны щитовидной железы ускоряют обмен веществ и, в частности, усиливают производство тепла. Симпатическая нервная система и гормон надпочечников адреналин вызывают сужение кровеносных сосудов кожи, что позволяет уменьшить отдачу тепла во внешнюю среду. Наоборот, расширение поверхностных кровеносных сосудов, активное испарение влаги и другие механизмы усиливают теплоотдачу.

Растения не могут быстро реагировать на изменение окружающей среды и не способны, как животные, изменить место своего обитания, но и они в процессе эволюции научились поддерживать свой гомеостаз. Например, при достаточном количестве воды растения отводят избыток тепла путём испарения воды через устьица. Предотвращают перегрев также густая опушённость листьев (рассеивает часть солнечных лучей), глянцевая поверхность листьев (частично

отражает лучи). Листовые пластинки многих злаков в жару сворачиваются в трубочку, а у эвкалипта — располагаются ребром к солнечным лучам.

В средних широтах в преддверии холодного сезона специальный растительный гормон вызывает у растений осенний листопад и переводит почки в состояние покоя. В холодном климате получить дополнительное тепло растениям помогают морфологические адаптации. Карликовые, стелющиеся и подушковидные формы растений используют припочвенное тепло летом и укрываются снежным покровом зимой.

Устойчивость к холоду растениям обеспечивают также такие адаптации, как, например, отмирание надземных частей побегов, уменьшение в клетках воды и накопление углеводов.

Регулируя все процессы, происходящие в организме, и тем самым поддерживая гомеостаз, нервная, эндокринная и иммунная системы работают совместно и слаженно. Гуморальная (от лат. *humor* — жидкость) регуляция — это наиболее древний способ регуляции в органическом мире. Она осуществляется через жидкие среды организма с помощью химических веществ, получаемых извне или выделяемых клетками тканей и органов. Например, увеличение в крови концентрации углекислого газа активизирует нашу дыхательную систему, мы начинаем дышать глубже и чаще.

В процессе эволюции у животных возникла эндокринная система. Составляющие её органы — железы внутренней секреции — синтезируют и выделяют в кровь биологически активные вещества — гормоны. Гормоны регулируют все процессы обмена веществ, рост и развитие, созревание и формирование органов и их систем, поддерживают постоянство внутренней среды и обеспечивают адаптацию организма к меняющимся условиям.

Для гуморальной регуляции характерен ряд специфических черт. Во-первых, её эффекты развиваются относительно медленно. Необходимо время, чтобы химические вещества синтезировались, выделились и с током крови достигли своего органа-мишени. Во-вторых, она обладает длительным действием: вещество синтезируется в определённом количестве и существует в организме некоторое время. В-третьих, биологически активные вещества воздействуют на все чувствительные к ним органы и ткани, куда они доставляются кровью (лимфой), т. е. нет точечного управления отдельной клеткой или группой клеток.

Нервная регуляция осуществляется гораздо быстрее. Возбуждение по некоторым нервным волокнам передаётся со скоростью 120 м/с, тогда как скорость тока крови, которая переносит биологически активные вещества, в среднем составляет 0,25—0,5 м/с. При этом нервные волокна подходят к строго определённым тканям и органам, поэтому ответная реакция будет не только более быстрой, но

и более точной. И, наконец, ещё одна отличительная черта нервной регуляции — кратковременность действия.

Нервная и гуморальная регуляторные системы тесно связаны между собой. С одной стороны, на деятельность нервной системы влияют переносимые с током крови химические вещества. С другой стороны — синтез и выделение веществ в кровь находятся под контролем нервной системы. Поэтому в организме существует единая нейрогуморальная регуляция всех физиологических функций. Иммунная система — самая инертная, но зато антитела, вырабатывающиеся в ответ на проникновение в организм инфекции, во многих случаях сохраняются и оберегают организм от повторного заражения всю оставшуюся жизнь, например при заражении ветряной оспой, корью, дифтерией. Таким образом, организм представляет собой целостную биологическую систему. Согласованность функционирования отдельных частей этой биосистемы обеспечивает её длительную и эффективную работу.

Вопросы для повторения и задания

1. Что такое организм? Постарайтесь дать определение этого понятия.
2. Что такое одноклеточный организм? Приведите примеры.
3. Какие особенности строения клетки могут обеспечить выполнение функций, свойственных целостному организму?
4. Объясните, какое значение для эволюции жизни на Земле имело появление многоклеточности.
5. Представьте, что перед вами — человек, незнакомый с биологией. Объясните ему преимущество многоклеточности.
6. Почему нельзя разделить нервную и гуморальную регуляцию в организме?
7. Приведите примеры, подтверждающие, что гомеостаз является динамическим равновесием.

Подумайте! Выполните!

1. Как вы считаете, почему до сих пор науке неизвестно точное число видов организмов, живущих на нашей планете?
2. В клетках каких организмов существуют органоиды специального назначения? Какие функции они выполняют?
3. Могут ли у многоклеточных организмов отсутствовать ткани и органы?
4. Объясните, почему появление многоклеточности привело в дальнейшем к образованию тканей и органов.
5. Сравните колонии одноклеточных организмов и колонии многоклеточных животных, например морских котиков. В чём их принципи-

альное отличие? Есть ли у них черты сходства? Рассмотрите вместо котиков колонию кишечнорастворимых — коралловых полипов.

6. Приведите аргументы, подтверждающие, что гуморальная регуляция возникла в эволюции раньше, чем нервная.

Узнайте больше

Происхождение многоклеточности. Вопрос происхождения многоклеточных организмов представляет большой интерес, так как является основой для понимания эволюции живой природы. В настоящее время наиболее серьёзно аргументированы колониальные гипотезы происхождения многоклеточности. Согласно этим гипотезам, многоклеточные организмы в процессе эволюции возникли в результате усложнения организации некоторых колоний простейших.

Первую колониальную гипотезу происхождения многоклеточных предложил в 1874 г. зоолог-эволюционист Эрнст Генрих Геккель. Его гипотеза получила название «гипотеза гастреи». Учёный считал, что предком многоклеточных была шаровидная колония жгутиковых. В ходе эволюции из этой колонии путём впячивания могли возникнуть первые двуслойные многоклеточные с кишечной полостью. Этого гипотетического предка Геккель назвал гастреей. Наружный слой жгутиковых клеток выполнял в первую очередь двигательную функцию, а внутренний слой — пищеварительную.

В 1888 г. русский биолог Илья Ильич Мечников опубликовал другую колониальную гипотезу — «гипотезу фагоцителлы». По мнению учёного, предок многоклеточных (фагоцителла) мог возникнуть из шаровидных колоний жгутиконосцев путём перемещения части клеток внутрь колонии. При этом наружные жгутиковые клетки продолжали выполнять двигательную функцию, а внутренние утрачивали жгутики, становились похожими на амёб и выполняли функцию фагоцитоза (отсюда и возникло название предковой формы).

Гипотеза фагоцителлы И. И. Мечникова завоевала широкое признание и нашла дальнейшее развитие в трудах многих современных учёных.

16. Обмен веществ и превращение энергии. Энергетический обмен

Вспомните!

Что такое метаболизм?

Из каких двух взаимосвязанных процессов он состоит?

Где в организме человека происходит расщепление большей части органических веществ, поступающих с пищей?

Обмен веществ и энергии. Главным условием жизни любого организма является обмен веществ и энергии с окружающей средой. В каждой клетке непрерывно происходят сложнейшие процессы, которые направлены на поддержание и обеспечение нормальной жизнедеятельности.

тельности самой клетки и организма в целом. Синтезируются сложные высокомолекулярные соединения: из аминокислот образуются белки, из простых сахаров — полисахариды, из нуклеотидов — нуклеиновые кислоты. Клетки делятся и образуют новые органоиды, из клетки и в клетку активно транспортируются различные вещества. По нервным волокнам передаются электрические импульсы, сокращаются мышцы, поддерживается постоянная температура тела — на всё это, а также на многие другие процессы, протекающие в организме, требуется энергия. Эта энергия образуется при расщеплении органических веществ. *Совокупность реакций расщепления высокомолекулярных соединений, которые сопровождаются выделением и запасанием энергии*, называют **энергетическим обменом** или **диссимиляцией**. В основном энергия запасается в виде универсального энергоёмкого соединения — АТФ.

Аденозинтрифосфорная кислота (АТФ) — нуклеотид, состоящий из азотистого основания (аденина), сахара рибозы и трёх остатков фосфорной кислоты (рис. 53). АТФ является главной энергетической молекулой клетки, своего рода аккумулятором энергии. Все процессы в живых организмах, требующие затрат энергии, сопровождаются превращением молекулы АТФ в АДФ (аденозиндифосфорную кислоту). При отщеплении остатка фосфорной кислоты высвобождается большое количество энергии — 40 кДж/моль. Таких высокоэнергетических (так называемых макроэргических) связей в молекуле АТФ две. Восстановление структуры АТФ из АДФ и фосфорной кислоты сопровождается поглощением энергии.

Запас органических веществ, которые организм расходует для получения энергии или использует для построения собственного тела, должен постоянно пополняться. *Совокупность всех процессов биосинтеза, протекающих в живых организмах*, называют **пластическим обменом** или **ассимиляцией**. Пластический обмен всегда сопровождается поглощением энергии. Примерами процессов пластического обмена являются биосинтез белка (§ 13), фотосинтез и хемосинтез (§ 17).

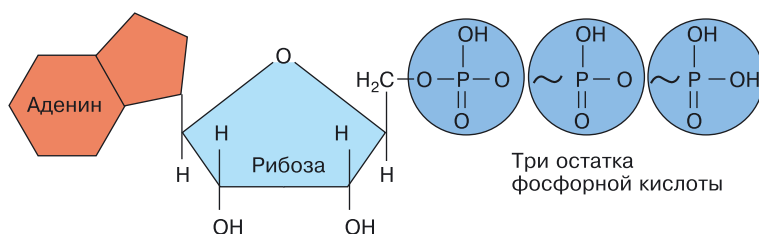


Рис. 53. Строение молекулы АТФ (знаком «~» обозначена макроэргическая связь)

Итак, в процессе энергетического обмена расщепляются органические соединения и запасается энергия, а во время пластического обмена расходуется энергия и синтезируются органические вещества. Реакции энергетического и пластического обмена находятся в неразрывной связи, образуя в совокупности единый процесс — **обмен веществ и энергии**, или **метаболизм**. Метаболизм непрерывно осуществляется во всех клетках, тканях и органах, поддерживая постоянство внутренней среды организма — *гомеостаз*.

Энергетический обмен. Большинству организмов на нашей планете для жизнедеятельности необходим кислород. Такие организмы называют *аэробными*. Энергетический обмен у аэробов происходит в три этапа: подготовительный, бескислородный и кислородный. При наличии кислорода органические вещества в процессе дыхания полностью окисляются до углекислого газа и воды, в результате чего запасается большое количество энергии.

Анаэробные организмы способны обходиться без кислорода. Для некоторых из них кислород вообще губителен, поэтому они живут там, где кислорода нет совсем, как, например, возбудитель столбняка. Другие, так называемые факультативные анаэробы, могут существовать как без кислорода, так и в его присутствии. Энергетический обмен у анаэробных организмов происходит в два этапа: подготовительный и бескислородный, поэтому органические вещества окисляются не полностью и энергии запасается гораздо меньше.

Рассмотрим три этапа энергетического обмена (рис. 54).

Подготовительный этап. Этот этап осуществляется в желудочно-кишечном тракте и в лизосомах клеток. Здесь высокомолеку-

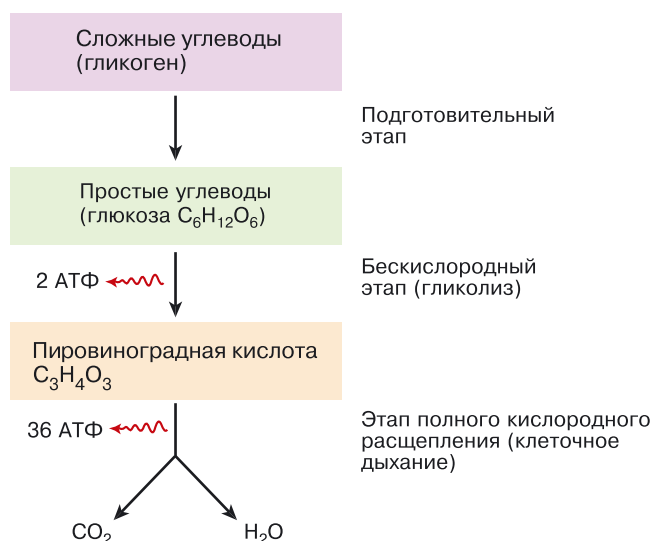


Рис. 54. Этапы энергетического обмена

лярные соединения под действием пищеварительных ферментов распадаются до более простых, низкомолекулярных: белки — до аминокислот, полисахариды — до моносахаридов, жиры — до глицерина и жирных кислот. Энергия, которая выделяется при этих реакциях, не запасается, а рассеивается в виде тепла. Низкомолекулярные вещества, образующиеся на подготовительном этапе, могут использоваться организмом для синтеза своих собственных органических соединений, т. е. вступать в пластический обмен или расщепляться дальше с целью запасания энергии.

Бескислородный этап. Второй этап протекает в цитоплазме клеток, где происходит дальнейшее расщепление простых органических веществ. Аминокислоты, образованные на первом этапе, организм не использует на следующих этапах диссимилиации, потому что они необходимы ему в качестве материала для синтеза собственных белковых молекул. Поэтому для получения энергии белки расходуются очень редко, обычно только в том случае, когда остальные резервы (углеводы и жиры) уже исчерпаны. Обычно самым доступным источником энергии в клетке является глюкоза.

Сложный многоступенчатый процесс бескислородного расщепления глюкозы на втором этапе энергетического обмена называют *гликолизом* (от греч. *glycos* — сладкий и *lysis* — расщепление).

В результате гликолиза глюкоза расщепляется до более простых органических соединений (глюкоза $C_6H_{12}O_6 \rightarrow$ пировиноградная кислота $C_3H_4O_3$). При этом выделяется энергия, 60% которой рассеивается в виде тепла, а 40% используется для синтеза АТФ. При расщеплении одной молекулы глюкозы образуется две молекулы АТФ и две молекулы пировиноградной кислоты. Таким образом, на втором этапе диссимилиации организм начинает запасать энергию.

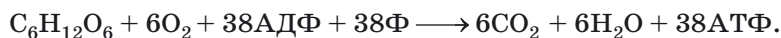
Дальнейшая судьба пировиноградной кислоты зависит от присутствия кислорода в клетке. Если кислород есть, то пировиноградная кислота поступает в митохондрии, где происходит её полное окисление до CO_2 и H_2O и осуществляется третий, кислородный этап энергетического обмена (см. ниже).

При отсутствии кислорода происходит так называемое анаэробное дыхание, которое часто называют *брожением*. В клетках дрожжей в процессе спиртового брожения пировиноградная кислота (ПВК) превращается в этиловый спирт ($ПВК \rightarrow$ Этиловый спирт + CO_2).

При молочнокислом брожении из ПВК образуется молочная кислота. Этот процесс может происходить не только у молочнокислых бактерий. При напряжённой физической работе в клетках мышечной ткани человека возникает нехватка кислорода, в результате чего образуется молочная кислота, накопление которой вызывает чувство усталости, боль и иногда даже судороги.

Кислородный этап. На третьем этапе продукты, образовавшиеся при бескислородном расщеплении глюкозы, окисляются до углекислого газа и воды. При этом освобождается большое количество энергии, значительная часть которой используется для синтеза АТФ. Этот процесс протекает в митохондриях и называется *клеточным дыханием*. В ходе клеточного дыхания при окислении двух молекул ПВК выделяется энергия, запасаемая организмом в виде 36 молекул АТФ.

Итак, в процессе энергетического обмена при полном окислении одной молекулы глюкозы до углекислого газа и воды образуется 38 молекул АТФ (2 молекулы — в процессе гликолиза и 36 — в процессе клеточного дыхания в митохондриях):



В анаэробных условиях эффективность энергетического обмена значительно ниже — всего 2 молекулы АТФ. Продукты брожения (этиловый спирт, молочная кислота, масляная кислота) в своих химических связях сохраняют ещё много энергии, т. е. более выгодным в энергетическом отношении является кислородный путь диссимиляции. Но исторически брожение — более древний процесс. Он мог осуществляться ещё тогда, когда в атмосфере древней Земли отсутствовал свободный кислород.

Вопросы для повторения и задания

1. Что такое диссимиляция? Перечислите её этапы.
2. В чём заключается роль АТФ в обмене веществ в клетке?
3. Какие структуры клетки осуществляют синтез АТФ?
4. Расскажите об энергетическом обмене в клетке на примере расщепления глюкозы.
5. Изобразите схематично процесс диссимиляции, сведя на одной схеме все возможные его варианты, упомянутые в тексте параграфа (в том числе брожение).
6. Синонимами слов «диссимиляция» и «ассимиляция» являются термины «катаболизм» и «анаболизм». Объясните происхождение этих терминов.

Подумайте! Выполните!

1. Объясните, почему потребление избыточного количества пищи приводит к ожирению.
2. Почему энергетический обмен не может существовать без пластического обмена?

3. Как вы считаете, почему после тяжёлой физической работы, для того чтобы быстрее снять боли в мышцах, рекомендуют принять тёплую ванну?

17. Пластический обмен. Фотосинтез. Хемосинтез

Вспомните!

Какую часть метаболизма называют пластическим обменом?

Какова роль зелёных растений в природе?

В каких органоидах клетки осуществляется фотосинтез?

Любой живой организм — открытая динамичная система, в которой постоянно осуществляются разнообразные процессы. В ходе жизнедеятельности клетки накапливают питательные вещества, образуют новые органоиды, растут, делятся, выполняют свои специфические функции, осуществляя при этом активный синтез органических веществ — пластический обмен и расходуя энергию, запасённую в процессе энергетического обмена. Особенно активно ассимиляция происходит в период роста организма. Но для осуществления процессов биосинтеза наличия одной энергии мало. Нужен ещё материал, из которого организм сможет синтезировать свои органические соединения. Самым важным элементом, необходимым всем живым организмам, является углерод.

Типы питания. В зависимости от способа получения углерода, т. е. по типу питания, все организмы делят на две большие группы: автотрофы и гетеротрофы.

Автотрофные организмы способны самостоятельно синтезировать необходимые органические соединения, используя в качестве источника углерода неорганическое вещество — углекислый газ (CO_2). В зависимости от того, какой источник энергии используют автотрофы для синтеза органических веществ, их делят на две группы: фототрофы и хемотрофы.

Фототрофы используют энергию света (растения и синезелёные водоросли), а хемотрофы — энергию, выделяющуюся при окислении неорганических соединений (серобактерии, железобактерии).

Гетеротрофные организмы используют в качестве источника углерода и одновременно источника энергии готовые органические вещества. К гетеротрофам относят всех животных, грибы и большинство бактерий.

Существуют ещё *миксотрофные организмы* (от греч. *mixis* — смешение), которые сочетают свойства автотрофов и гетеротрофов. К ним относят, например, эвглену зелёную, способную на свету само-

стоятельно синтезировать органические вещества, а в темноте — питаться готовыми.

Фотосинтез. Одним из наиболее важных процессов пластического обмена является *фотосинтез* — образование органических веществ при помощи энергии света. Эта энергия служит основным источником жизни на нашей планете. Зелёные растения и цианобактерии (синезелёные водоросли) используют солнечную энергию, синтезируя с её помощью органические соединения и аккумулируя её таким образом в виде энергии химических связей. Практически всё живое на Земле так или иначе связано с фотосинтезом. Гетеротрофные организмы полностью зависят от автотрофов, которые поставляют им углерод в виде готовых органических соединений. В процессе фотосинтеза выделяется кислород, используемый для дыхания. Все запасы горючих полезных ископаемых на нашей планете образовались органическим путём из остатков растений, живших много миллионов лет назад. Сжигая уголь и нефть, мы используем солнечную энергию, запасённую древними растениями.

Все реакции фотосинтеза осуществляются в специализированных органоидах: у цианобактерий — на впячиваниях клеточной мембраны, у водорослей — в хроматофорах, а у высших растений — в хлоропластах (рис. 55).

Суммарное уравнение фотосинтеза можно записать в следующем виде:

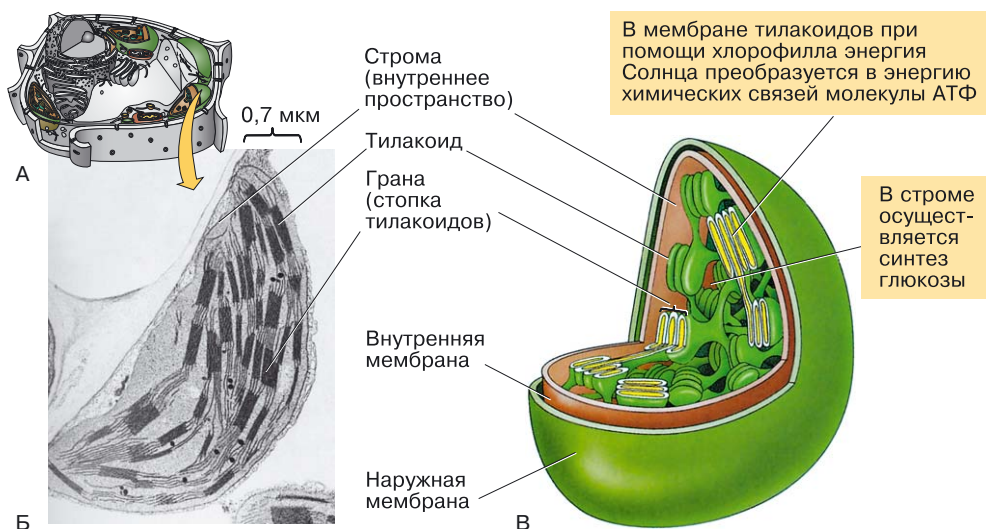
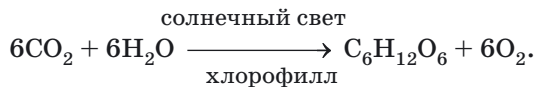


Рис. 55. Хлоропласт: А — расположение в клетке; Б — электронная фотография; В — схема строения

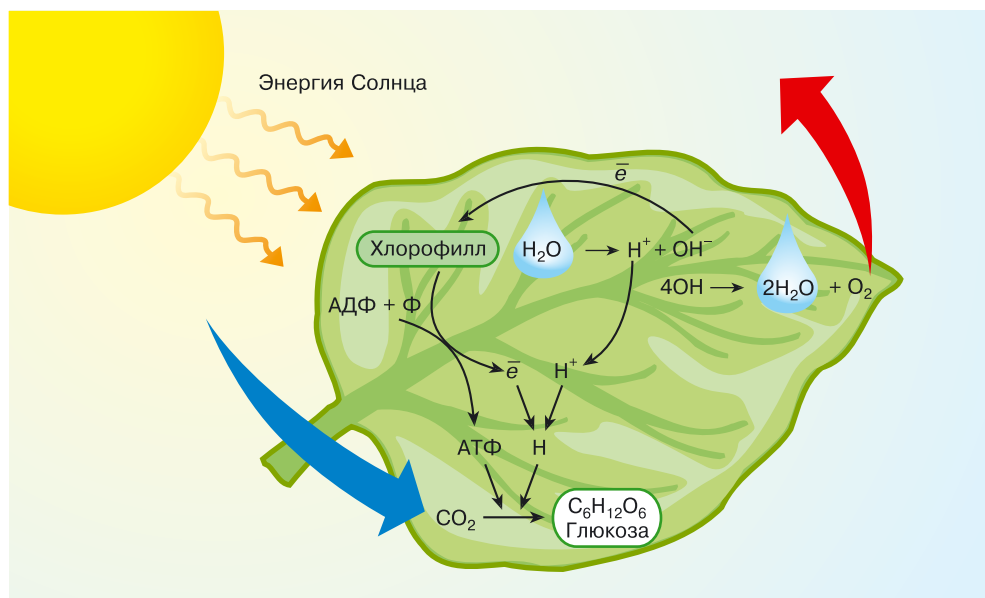


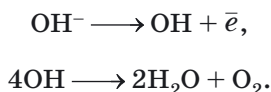
Рис. 56. Фотосинтез у высших растений

В процессе фотосинтеза при участии углекислого газа и воды образуется сахар — глюкоза. Эта реакция протекает за счёт энергии света, которая запасается в химических связях молекулы глюкозы, т. е. во время фотосинтеза происходит преобразование солнечной энергии в химическую (рис. 56). Весь этот процесс можно условно разделить на две фазы — световую и темновую. Рассмотрим, как происходит этот процесс в хлоропластах высших растений.

Световая фаза. Основным пигмент растительной клетки — хлорофилл — находится в мембране тилакоидов гран. Во время световой фазы молекулы хлорофилла поглощают кванты света — фотоны и переходят в неустойчивое возбуждённое состояние. Стремясь вернуться в исходное состояние, они отдают эту избыточную энергию, которая частично переходит в тепловую. Другая часть избыточной энергии запасается в виде АТФ, т. е. накапливается энергия, необходимая для осуществления процессов, протекающих в темновой фазе.

Внутри тилакоидов под действием энергии света происходит фотолитиз воды: $\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{OH}^-$. Поэтому в водном растворе всегда присутствуют ионы водорода (H^+) и гидроксид-ионы (OH^-). Часть избыточной энергии возбуждённых молекул хлорофилла тратится на превращение ионов H^+ в атомы водорода, которые выходят в строму хлоропласта и там активно соединяются со сложными органическими веществами — переносчиками водорода.

Оставшиеся ионы OH^- отдают свои электроны молекулам хлорофилла, превращаются в свободные радикалы и взаимодействуют друг с другом, образуя воду и молекулярный кислород:



По сути, кислород, образующийся во время световой фазы, является побочным продуктом фотосинтеза.

Все описанные выше реакции происходят только на свету. Реакции следующей темновой фазы могут осуществляться как на свету,

так и в темноте.

■ Большой вклад в изучение процесса фотосинтеза внёс выдающийся российский учёный Климент Аркадьевич Тимирязев. Он впервые доказал, что растения, синтезируя сахара из неорганического вещества — углекислого газа, преобразуют энергию света в энергию химических связей.

Однако ещё раньше, в 1771 г., английский учёный Джозеф Пристли на основании своих наблюдений сделал вывод, что растения улучшают воздух, делая его пригодным для дыхания. Так впервые было определено уникальное значение зелёных растений.

Темновая фаза. Во время этой фазы происходит связывание углекислого газа и использование его атомов углерода для синтеза глюкозы. Атомы водорода, необходимые для этой реакции, приносят молекулы-переносчики, присоединившие водород во время световой фазы, а энергию предоставляют молекулы АТФ.

Обе фазы фотосинтеза неразрывно связаны между собой, образуя единый сложный процесс, важнейшим итогом которого является синтез органических соединений — сахаров и выделение молекулярного кислорода. ■

Хемосинтез. Хемосинтез — это способ автотрофного питания, при котором источником энергии для синтеза органических веществ служат процессы окисления различных неорганических веществ: серы, сероводорода, аммиака, водорода и соединений железа. Это явление было открыто русским микробиологом Сергеем Николаевичем Виноградским в 1887 г. Основными хемосинтезирующими организмами являются бактерии.

Нитрифицирующие бактерии способны окислять аммиак, образующийся при гниении органических остатков, сначала до азотистой, а потом до азотной кислоты. В результате реакций азотной кислоты с минеральными веществами почвы образуются нитраты, которые усваиваются растениями.

Бесцветные серобактерии окисляют сероводород и накапливают в клетках серу. При нехватке сероводорода серобактерии окисляют

накопленную серу до серной кислоты. Железобактерии окисляют двухвалентное железо до трёхвалентного. Водородные бактерии используют энергию, выделяющуюся при окислении молекулярного водорода.

Вопросы для повторения и задания

1. Что такое ассимиляция?
2. Опишите известные вам типы питания. Какой критерий лежит в разделении организмов на автотрофные и гетеротрофные?
3. Какие организмы называют автотрофными? На какие группы подразделяют автотрофов?
4. Почему у зелёных растений в результате фотосинтеза выделяется в атмосферу свободный кислород?
5. Каковы признаки гетеротрофного типа питания? Приведите примеры гетеротрофных организмов.
6. Как вы думаете, почему всё живое на Земле можно назвать «детьми Солнца»?
7. Используя дополнительные источники информации, подготовьте сообщение или презентацию на тему «Хемосинтез и его значение в жизни планеты».

Подумайте! Выполните!

1. Как связаны между собой фотосинтез и проблема обеспечения продовольствием населения Земли?
2. Можно ли считать, что фотосинтез включает в себя одновременно два процесса — ассимиляцию и диссимиляцию? Объясните свою точку зрения.
3. Приведите примеры использования особенностей метаболизма живых организмов в медицине, сельском хозяйстве и других отраслях.
4. Достаточно ли знать, что организм способен выделять кислород, чтобы отнести его к автотрофам? И верно ли обратное утверждение: «Если организм является автотрофом, то он выделяет кислород»?
5. Как особенности метаболизма живых организмов используются в сельском хозяйстве, медицине, микробиологии, биотехнологии? Найдите необходимую информацию, используя дополнительные источники (литература, ресурсы Интернета). Обобщите информацию и представьте её в виде стенда.

Узнайте больше

Значение хемосинтеза. Роль хемосинтеза в природе очень велика. Нитрифицирующие бактерии участвуют в круговороте азота в биосфере.

Серобактерии, образуя серную кислоту, способствуют постепенному разрушению и выветриванию горных пород, выщелачиванию руд. Серобактерии, окис-

ляющие серу до сульфатов, участвуют в очищении промышленных сточных вод. Железобактерии широко распространены как в пресных, так и в морских водоёмах, и играют большую роль в круговороте железа в природе. В результате их деятельности образуется $\text{Fe}(\text{OH})_3$, скопления которого представляют собой железную болотную руду.

Водородные бактерии окисляют водород, постоянно образующийся при анаэробном разложении различных органических остатков микроорганизмами почвы. Человек использует водородные бактерии для получения кормового белка и ряда органических соединений (кислоты, аминокислоты, витамины, ферменты и др.), а также для регенерации атмосферы в системах жизнеобеспечения замкнутого типа.

Бактериальный фотосинтез. Использовать энергию света для синтеза необходимых органических соединений способны не только растения и цианобактерии, но и некоторые другие бактерии. Однако у них фотосинтез протекает несколько по-иному. В процессе бактериального фотосинтеза серные и несерные пурпурные бактерии и зелёные серобактерии используют атомы водорода не воды, а других водородсодержащих соединений, например сероводорода, тиосульфата, сульфитов и некоторых других. Поэтому в ходе бактериального фотосинтеза кислород в атмосферу не выделяется.

18. Деление клетки. Митоз

Вспомните!

Как, согласно клеточной теории, происходит увеличение числа клеток? Как вы считаете, одинакова ли продолжительность жизни разных типов клеток в многоклеточном организме? Обоснуйте своё мнение.

В момент рождения ребёнок весит в среднем 3—3,5 кг и имеет рост около 50 см, детёныш бурого медведя, чьи родители достигают веса 200 кг и более, весит не более 500 г, а крошечный кенгурёнок — менее 1 г. Из серого невзрачного птенца вырастает прекрасный лебедь, юркий головастик превращается в степенную жабу, а из посаженного возле дома жёлудя вырастает громадный дуб, который спустя сотню лет радует своей красотой новые поколения людей. Все эти изменения возможны благодаря способности организмов к росту и развитию. Дерево не превратится в семя, рыба не вернётся в икринку — процессы роста и развития необратимы. Эти два свойства живой материи неразрывно связаны друг с другом, и в их основе лежит способность клетки к делению и специализации.

Рост инфузории или амёбы — это увеличение размеров и усложнение строения отдельной клетки за счёт процессов биосинтеза. Но рост многоклеточного организма — это не только увеличение разме-

ров клеток, но и их активное деление — увеличение количества. Скорость роста, особенности развития, размеры, до которых может дорасти определённая особь, — всё это зависит от многих факторов, в том числе и от влияния среды. Но основным, определяющим фактором всех этих процессов служит наследственная информация, которая хранится в виде хромосом в ядре каждой клетки. Все клетки многоклеточного организма происходят из одной оплодотворённой яйцеклетки. В процессе роста каждая вновь образующаяся клетка должна получить точную копию генетического материала, чтобы, обладая общей наследственной программой организма, специализироваться и, выполняя свою определённую функцию, являться неотъемлемой частью целого.

В связи с дифференцировкой, т. е. разделением на разные типы, клетки многоклеточного организма имеют неодинаковую продолжительность жизни. Например, нервные клетки перестают делиться ещё во время внутриутробного развития. Однажды возникнув, больше не делятся и живут столько, сколько ткань или орган, в состав которых они входят, клетки, образующие поперечнополосатые мышечные ткани у животных и запасающие ткани у растений. Постоянно делятся клетки красного костного мозга, образуя клетки крови, продолжительность жизни которых ограничена. Так, например, эритроциты живут 120—130 суток, большинство лейкоцитов — от нескольких часов до 3—5 суток. В процессе выполнения своих функций быстро гибнут клетки кожного эпителия, поэтому в ростковой зоне эпидермиса клетки делятся очень интенсивно. Активно делятся камбиальные клетки и клетки конусов нарастания у растений. Чем выше специализация клеток, тем ниже их способность к размножению. ■

Жизненный цикл клетки. Период жизни клетки от момента её возникновения в процессе деления до гибели или конца последующего деления называют **жизненным циклом**. Клетка возникает в процессе деления материнской клетки и исчезает в ходе собственного деления или гибели. Продолжительность жизненного цикла у разных клеток очень сильно различается и зависит от типа клеток и условий внешней среды (температуры, наличия кислорода и питательных веществ). Например, жизненный цикл амёбы равен 36 часам, а бактерии могут делиться каждые 20 минут.

Жизненный цикл любой клетки представляет собой совокупность событий, протекающих

■ В организме человека около 10^{14} клеток. Ежедневно погибает около 70 млрд клеток кишечного эпителия и 2 млрд эритроцитов. Самые короткоживущие — это клетки кишечного эпителия, чья продолжительность жизни составляет всего 1—2 дня.

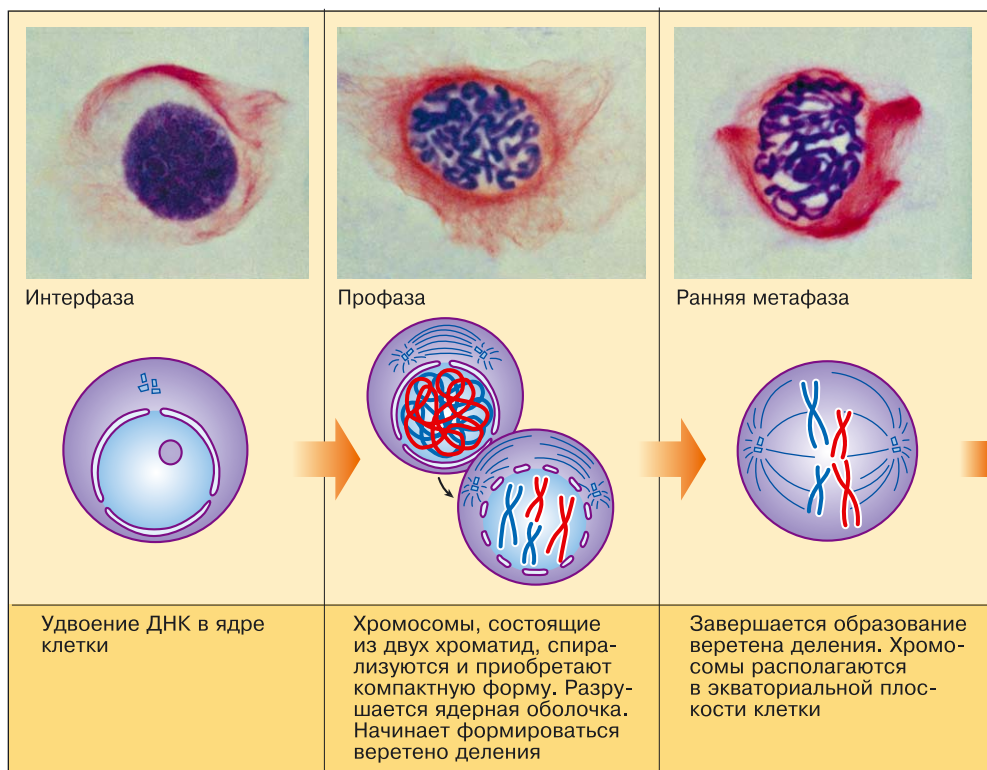
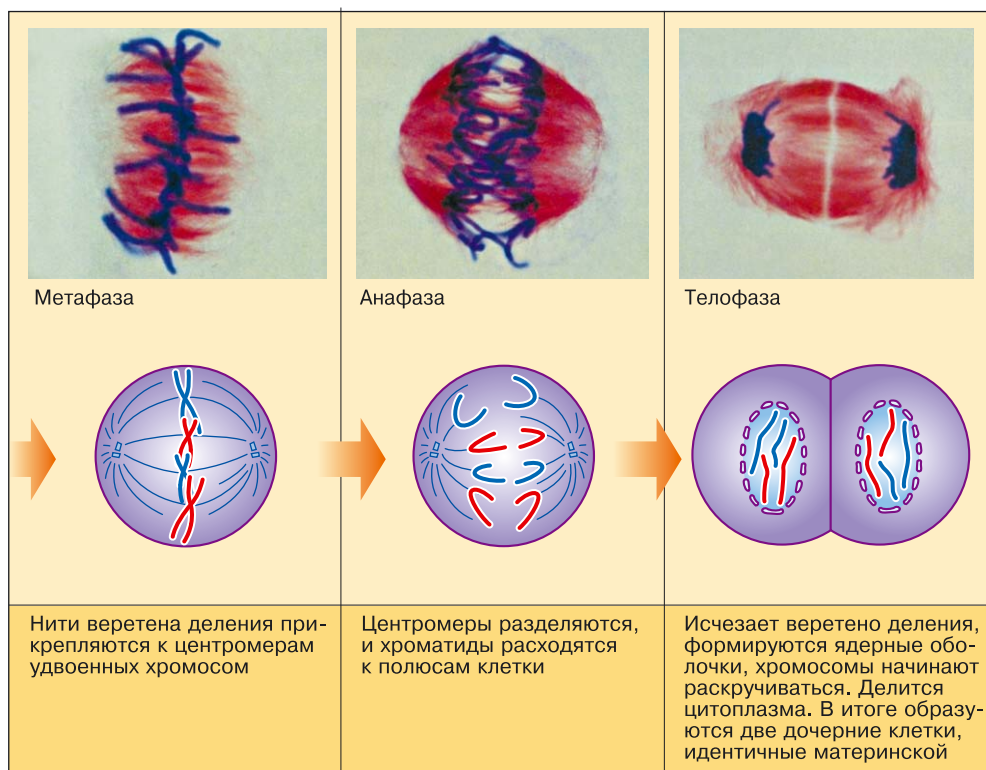


Рис. 57. Интерфаза и фазы митоза

в клетке с момента её возникновения в результате деления и до гибели или последующего деления. Жизненный цикл может включать митотический цикл, состоящий из подготовки к митозу — *интерфазы* и самого деления, а также стадию специализации — дифференцировки, во время которой клетка выполняет свои специфические функции. Продолжительность интерфазы всегда больше, чем само деление. У клеток кишечного эпителия грызунов интерфаза длится в среднем 15 часов, а деление осуществляется за 0,5—1 час. Во время интерфазы в клетке активно идут процессы биосинтеза, клетка растёт, образует органоиды и готовится к следующему делению. Но, несомненно, самым важным процессом, происходящим во время интерфазы в ходе подготовки к делению, является удвоение ДНК (§ 9).

Две спирали молекулы ДНК расходятся, и на каждой из них синтезируется новая полинуклеотидная цепь. Редупликация ДНК происходит с высочайшей точностью, что обеспечивается принципом комплементарности. Новые молекулы ДНК являются абсолютно идентичными копиями исходной, и после завершения процесса удвоения они остаются соединёнными в области центромеры. Моле-



кулы ДНК, входящие в состав хромосомы после редупликации, называют *хроматидами*.

В точности процесса редупликации заключается глубокий биологический смысл: нарушение копирования привело бы к искажению наследственной информации и, как следствие, к нарушению функционирования дочерних клеток и всего организма в целом.

Если бы удвоения ДНК не происходило, то при каждом делении клетки число хромосом уменьшалось бы вдвое и довольно скоро в каждой клетке совсем не осталось бы хромосом. Однако нам известно, что во всех клетках тела многоклеточного организма число хромосом одинаково и из поколения в поколение не изменяется. Это постоянство достигается благодаря митотическому делению клеток.

Митоз. Деление, в процессе которого происходит строго одинаковое распределение точно скопированных хромосом между дочерними клетками, что обеспечивает образование генетически идентичных — одинаковых — клеток, называется **митоз**.

Весь процесс митотического деления условно разделяют на четыре фазы разной продолжительности: профаза, метафаза, анафаза и телофаза (рис. 57).

В *профазе* хромосомы начинают активно спирализоваться — скручиваться и приобретают компактную форму. В результате такой упаковки считывание информации с ДНК становится невозможным и синтез РНК прекращается. Спирализация хромосом является обязательным условием успешного разделения генетического материала между дочерними клетками. Представьте себе некое небольшое помещение, весь объём которого заполнен 46 нитями, общая длина которых в сотни тысяч раз превышает размер этого помещения. Это ядро человеческой клетки. В процессе редупликации каждая хромосома удваивается, и мы имеем в том же объёме уже 92 перепутанные нити. Разделить их поровну, не запутавшись и не порвав, практически невозможно. Но смотайте эти нити в клубки, и вы легко их сможете распределить на две равные группы — по 46 клубков в каждой. Нечто аналогичное и происходит во время митотического деления.

К концу профазы ядерная оболочка распадается, и между полюсами клетки протягиваются нити веретена деления — аппарата, который обеспечивает равномерное распределение хромосом.

В *метафазе* спирализация хромосом становится максимальной, и компактные хромосомы располагаются в экваториальной плоскости клетки. На этой стадии отчётливо видно, что каждая хромосома состоит из двух сестринских хроматид, соединённых в области центромеры. Нити веретена деления прикрепляются к центромере.

Анафаза протекает очень быстро. Центромеры расщепляются надвое, и с этого момента сестринские хроматиды становятся самостоятельными хромосомами. Нити веретена деления, прикреплённые к центромерам, оттягивают хромосомы к полюсам клетки.

На стадии *телофазы* дочерние хромосомы, собравшиеся у полюсов клетки, раскручиваются и вытягиваются. Они вновь превращаются в хроматин и становятся плохо различимыми в световой ми-

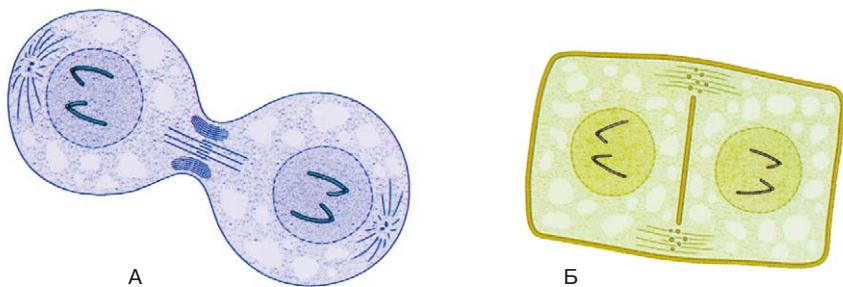


Рис. 58. Деление цитоплазмы в животной (А) и растительной (Б) клетках

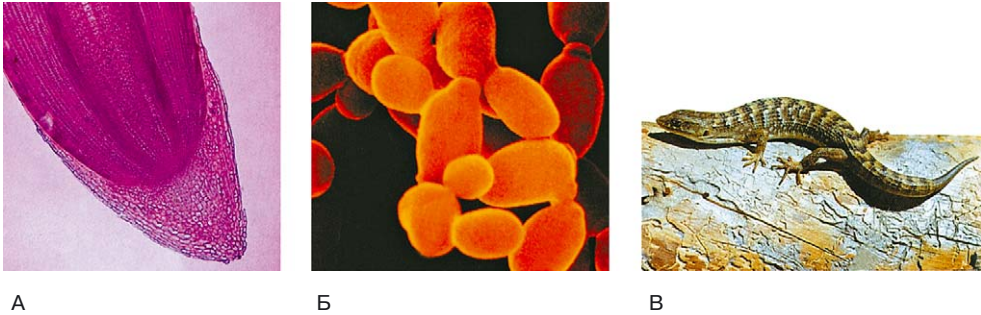


Рис. 59. Значение митоза: А — рост (кончик корня); Б — вегетативное размножение (почкование дрожжей); В — регенерация (хвост ящерицы)

кроскоп. Вокруг хромосом на обоих полюсах клетки формируются новые ядерные оболочки. Образуются два ядра, содержащие одинаковые диплоидные наборы хромосом.

Завершается митоз делением цитоплазмы. Одновременно с расхождением хромосом органоиды клетки приблизительно равномерно распределяются по двум полюсам. В животных клетках клеточная мембрана начинает впячиваться внутрь, и клетка делится путём перетяжки (рис. 58). В клетках растений мембрана формируется внутри клетки в экваториальной плоскости и, распространяясь к периферии, разделяет клетку на две равные части.

Значение митоза. В результате митоза возникают две дочерние клетки, содержащие столько же хромосом, сколько их было в ядре материнской клетки, т. е. образуются клетки, идентичные родительской. В нормальных условиях никаких изменений генетической информации в процессе митоза не происходит, поэтому митотическое деление поддерживает *генетическую стабильность* клеток. Митоз лежит в основе роста, развития и вегетативного размножения многоклеточных организмов. Благодаря митозу осуществляются процессы регенерации и замены отмирающих клеток (рис. 59). У одноклеточных эукариот митоз обеспечивает бесполое размножение.

Вопросы для повторения и задания

1. Что такое жизненный цикл клетки?
2. Каким образом в митотическом цикле происходит удвоение ДНК? Объясните, в чём заключается биологический смысл этого процесса.
3. В чём состоит подготовка клетки к митозу?
4. Опишите последовательно фазы митоза.
5. Составьте схему, иллюстрирующую биологическое значение митоза.

Подумайте! Выполните!

1. Объясните, почему завершение митоза — деление цитоплазмы происходит по-разному в животных и растительных клетках.
2. Клетки каких растительных тканей активно делятся и дают начало всем остальным тканям растения?

Узнайте больше

Интерфаза. Стадия подготовки клетки к делению называется **интерфаза**. Она подразделяется на несколько периодов.

Пресинтетический период (G1) — это наиболее продолжительный период клеточного цикла, наступающий после деления (митоза) клеток. Число хромосом и содержание ДНК — $2n2c$. У разных видов клеток период G1 может продолжаться от нескольких часов до нескольких суток. В этот период в клетке активно синтезируются белки, нуклеотиды и все виды РНК, делятся митохондрии и пропластиды (у растений), образуются рибосомы и все одномембранные органоиды, увеличивается объём клетки, накапливается энергия, идёт подготовка к репликации ДНК.

Синтетический период (S) — это важнейший период в жизни клетки, во время которого происходит удвоение ДНК (редупликация). Длительность S-периода — от 6 до 10 часов. В это же время идёт активный синтез белков-гистонов, входящих в состав хромосом, и их миграция в ядро. К концу периода каждая хромосома состоит из двух сестринских хроматид, соединённых друг с другом в области центромеры. Тем самым число хромосом не меняется ($2n$), а количество ДНК удваивается ($4c$).

Постсинтетический период (G2) наступает после завершения удвоения хромосом. Это период подготовки клетки к делению. Он длится 2—6 часов. В это время активно накапливается энергия для предстоящего деления, синтезируются белки микротрубочек (тубулины) и регуляторные белки, запускающие митоз.

Формы митоза. В природе встречается несколько вариантов митотического деления клеток.

Симметричный митоз. Наиболее распространённая в природе форма митоза, в результате которой получаются две одинаковые клетки.

Асимметричный митоз. Митоз, при котором происходит неравномерное распределение цитоплазмы между дочерними клетками или неравномерное распределение специальных белков — факторов дифференцировки, определяющих дальнейшую судьбу клетки после деления.

Закрытый митоз. У некоторых инфузорий, водорослей, грибов митоз проходит без разрушения ядерной оболочки. В этом случае веретено деления может располагаться внутри специального канала, который образуется в ядре. Молекулярные механизмы закрытого митоза пока изучены ещё недостаточно хорошо.

Амитоз. **Амитоз**, или **прямое деление**, — деление клетки без образования веретена деления. Интерфазное ядро разделяется перетяжкой на две части. При этом не происходит равномерное распределение генетического материала между двумя дочерними клетками. Чаще всего амитоз встречается в клетках

высокоспециализированных тканей, которым уже не надо делиться дальше, при старении, дегенерации тканей и в клетках злокачественных опухолей. Следует отметить, что в настоящее время большинство учёных считают, что все явления, относимые к амитозу, — это описания неких патологических процессов или результат неверной интерпретации недостаточно качественно приготовленных микропрепаратов. Однако всё-таки некоторые варианты деления ядер эукариотических клеток нельзя отнести ни к митозу, ни к мейозу. Таково, например, деление макронуклеусов многих инфузорий, которое происходит без образования веретена деления.

Повторите и вспомните!

Растения

Образовательные ткани. Клетки специализированных растительных тканей (покровных, механических, проводящих) не способны к делению. Следовательно, в растении должны быть ткани, единственная функция которых заключается в новообразовании клеток. Только от них зависит возможность роста растения. Это образовательные ткани, или меристемы (от греч. *meristos* — делимый).

Образовательные ткани, или меристемы, состоят из мелких тонкостенных крупноядерных клеток, содержащих пропластиды, митохондрии и мелкие, практически неразличимые под световым микроскопом вакуоли. Меристемы обеспечивают рост растения и образование всех остальных типов тканей. Их клетки делятся путём митоза. После каждого деления одна из сестринских клеток сохраняет свойство материнской, а другая вскоре прекращает деление и приступает к начальным этапам дифференциации, в дальнейшем образуя клетки определённой ткани.

Образовательные ткани в теле растения располагаются в разных местах, в связи с чем их делят на несколько групп.

Верхушечные (апикальные) меристемы. Располагаются на верхушках осевых органов — стебля и корня, обеспечивая рост этих органов в длину. По мере ветвления на каждом новом боковом побеге или корне образуются свои верхушечные меристемы.

Боковые (латеральные) меристемы. Обеспечивают утолщение осевых органов. Это камбий, характерный для голосеменных и двудольных растений, и феллоген, образующий покровную ткань — пробку, или феллему.

Вставочные (интеркалярные) меристемы. Расположены в нижней части междоузлия стебля злаков и у основания молодых листьев, обеспечивая рост этих органов. По мере окончания роста листа или стеблевого участка вставочная меристема превращается в постоянные ткани.

19. Размножение: бесполое и половое

Вспомните!

Какие два основных типа размножения существуют в природе?

Что такое вегетативное размножение?

Какой набор хромосом называют гаплоидным; диплоидным?

Каждую секунду на Земле гибнут десятки тысяч организмов. Одни от старости, другие из-за болезней, третьих съедают хищники... Мы срываем в саду цветок, наступаем случайно на муравья, убиваем укусившего нас комара и ловим на озере щуку. Каждый организм смертен, поэтому любой вид должен заботиться о том, чтобы его численность не уменьшалась. Смертность одних особей компенсируется рождением других.

Способность к размножению является одним из основных свойств живой материи. *Размножение*, т. е. воспроизведение себе подобных, обеспечивает непрерывность и преемственность жизни. В процессе размножения происходит точное воспроизведение и передача генетической информации от родительского поколения следующему, дочернему, что обеспечивает существование вида на протяжении длительного времени, несмотря на гибель отдельных особей. В основе размножения лежит способность клетки к делению, а передача генетической информации обеспечивает материальную преемственность поколений любого вида. Для того чтобы особь смогла воспроизводить себе подобных, т. е. стать способной к размножению, она должна вырасти и достичь определённой стадии развития. Не все организмы доживают до репродуктивного периода и не все оставляют потомство, поэтому, чтобы поддержать существование вида, каждое поколение должно производить потомков больше, чем было родителей. Свойства живых организмов — рост, развитие и размножение — неразрывно связаны друг с другом.

Все виды организмов способны к размножению. Даже вирусы — неклеточная форма жизни — пусть не самостоятельно, но тоже размножаются в клетках организма-хозяина. В процессе эволюции в природе возникло несколько способов размножения, каждый из которых имеет свои преимущества и свои недостатки. Все разнообразные формы размножения можно объединить в два основных типа — *бесполое* и *половое*.

Бесполое размножение. Этот тип размножения происходит без образования специализированных половых клеток (гамет), и для его осуществления необходим только один организм. Новая особь развивается из одной или нескольких соматических (неполовых) клеток материнского организма и является его абсолютной копией. Генетиче-

ски однородное потомство, происходящее от одной родительской особи, называют *клоном*.

Бесполое размножение является наиболее древней формой размножения, поэтому особенно широко оно распространено у одноклеточных организмов, но встречается и среди многоклеточных.

Существует несколько способов бесполого размножения.

Деление. Прокариотические организмы (бактерии и синезелёные водоросли) размножаются путём *простого деления*, которому предшествует удвоение единственной кольцевой молекулы ДНК.

Митотическим делением на две и более клеток размножаются простейшие (амёбы, инфузории, жгутиковые) (рис. 60) и одноклеточные зелёные водоросли. ■

Спорообразование. Этот способ размножения характерен в основном для грибов и растений. Специализированные гаплоидные клетки — споры — могут образовываться в специальных органах — спорангиях (как это происходит у растений) или открыто, на поверхности организма (как, например, у некоторых плесневых грибов).

Споры продуцируются в огромном количестве и обладают очень малым весом, что облегчает их распространение ветром, а также животными, в основном насекомыми.

Вегетативное размножение. Способ бесполого размножения, при котором дочерний организм развивается из группы родительских клеток, называют вегетативным размножением.

Широко распространено такое размножение у растений. В естественных природных условиях оно, как правило, происходит *с помощью специализированных частей тела растения*. Луковица тюльпана, клубнелуковица гладиолуса, растущий горизонтально подземный

■ У некоторых простейших (малярийный плазмодий) встречается особый способ бесполого размножения, так называемая *шизогония*. Ядро материнской особи делится несколько раз подряд без деления цитоплазмы, а затем образовавшаяся многоядерная клетка распадается на множество одноядерных клеток.



Рис. 60. Деление амёбы

■ Фрагментация встречается и в растительном царстве. Зелёная водоросль спирогира размножается обрывками своих нитей, а низшие мхи — кусками слоевища.

Вегетативное размножение у животных осуществляется двумя основными способами: фрагментацией и почкованием.

Фрагментация — это разделение тела на две и более частей, каждая из которых даёт начало новой полноценной особи. Этот процесс основан на способности к регенерации. Таким способом могут размножаться кольчатые и плоские черви, иглокожие и кишечнополостные. ■

Почкование — это образование на теле материнской особи группы клеток — почки, из которой развивается новая особь. В течение некоторого времени дочерняя особь развивается как часть материнского организма, а затем или отделяется от него и переходит к самостоятельному существованию (пресноводный полип гидра), или, продолжая расти, образует собственные почки, формируя колонию (коралловые полипы). Встречается почкование и у одноклеточных организмов — дрожжевых грибов (рис. 61) и некоторых инфузорий.

Половое размножение. Половое размножение — это процесс образования дочернего организма при участии половых клеток — *гамет*. В большинстве случаев новое поколение возникает в результате слияния двух специализированных половых клеток различных организмов. Гаметы, дающие начало дочернему организму, имеют половинный (гаплоидный) набор хромосом данного вида и у животных образуются в результате особого процесса — *мейоза* (§ 20). Как правило, гаметы бывают двух типов — мужские и женские, и формируются они в специальных органах — половых железах.



Рис. 61. Почкование дрожжевых грибов

стебель (корневище) ириса, ползучий, стелющийся по поверхности почвы стебель ежевики, усы земляники, клубни картофеля и корневые клубни георгина — всё это органы вегетативного размножения растений.

Новый организм, возникающий в результате слияния гамет, получает наследственную информацию от обоих родителей: 50% от матери и 50% от отца. Будучи похожим на них, он тем не менее обладает собственной уникальной комбинацией генетического материала, которая может оказаться очень удачной для выживания в меняющихся условиях окружающей среды.

Виды, у которых есть и мужские, и женские особи, называют *раздельнополыми*; к ним относится большинство животных.

Виды, у которых одна и та же особь способна формировать и мужские, и женские гаметы, называют *двуполыми* или *гермафродитными*. К таким организмам относятся большинство покрытосеменных растений, многие кишечнополостные, плоские черви и многие кольчатые (малощетинковые и пиявки), некоторые ракообразные и моллюски и даже отдельные виды рыб и пресмыкающихся. Гермафродитизм подразумевает возможность самооплодотворения, что бывает очень важно для организмов, ведущих одиночный образ жизни (например, свиной цепень в организме человека). Правда, следует отметить, что при возможности гермафродиты предпочитают обмениваться половыми клетками друг с другом, осуществляя перекрёстное оплодотворение.

Возникшая в процессе эволюции раздельнополость имела явные преимущества. Появилась возможность объединять генетическую информацию разных особей, формируя новые сочетания и увеличивая генетическое разнообразие вида, что способствовало его приспособлению в изменяющихся условиях обитания. Кроме того, это позволило распределить функции между особями разного пола. У большинства организмов появился *половой диморфизм* — внешние различия между мужскими и женскими особями (рис. 62).

Значение бесполого и полового размножения. Как бесполое, так и половое размножение обладает рядом достоинств. При половом размножении часто приходится тратить время и энергию на поиски партнёра или терять огромное количество гамет, как происходит при перекрёстном оплодотворении у растений (сколько пыльцы пропадает впустую!). При бесполом размножении продолжение рода происходит проще и численность особей увеличивается гораздо быстрее, но все дочерние особи одинаковы и являются ко-



Рис. 62. Половой диморфизм

пией материнского организма. Это может быть преимуществом, если вид обитает в неизменных условиях среды. Но для многих видов, чья окружающая среда изменчива и непостоянна, бесполое размножение не обеспечит выживания. Амёба размножается только бесполым путём, а, к примеру, млекопитающие только половым, и каждого «устраивает» его форма размножения. То, что хорошо в одних условиях, может оказаться неподходящим в другой ситуации, поэтому у многих видов существует чередование разных форм размножения, что позволяет им оптимально решать задачу воспроизведения себе подобных в различных условиях обитания.

Вопросы для повторения и задания

1. Докажите, что размножение — одно из важнейших свойств живой природы.
2. Какие основные типы размножения вам известны?
3. Что такое бесполое размножение? Какой процесс лежит в его основе?
4. Перечислите способы бесполого размножения; приведите примеры.
5. Возможно ли появление генетически разнородного потомства при бесполом размножении? Аргументируйте свой ответ.
6. Чем половое размножение отличается от бесполого? Сформулируйте определение полового размножения.
7. Подумайте, какое значение для эволюции жизни на Земле имело появление полового размножения.

Подумайте! Выполните!

1. Почему при вегетативном размножении не наблюдается расщепление признаков в потомстве?
2. Объясните, в чём отличие естественного вегетативного размножения от искусственного.
3. Какой тип размножения обеспечивает лучшую приспособляемость к изменениям окружающей среды? Докажите свою точку зрения.
4. Согласны ли вы с утверждением, что перекрёстное оплодотворение при гермафродитизме биологически более выгодно? Докажите свою точку зрения.
5. Может ли вегетативное размножение у растений осуществляться при помощи неспециализированных частей тела? Если да, то приведите примеры.
6. Докажите, что деление бактерий не является митозом.

Узнайте больше

Споры грибов. Бесполое размножение многих грибов осуществляется с помощью спор. В зависимости от способа образования различают эндогенные и экзогенные споры. Эндогенные споры образуются внутри специальных выростов мицелия — спорангиях. Экзогенные споры называют конидиоспорами

(конидиями). Они формируются открыто на специальных гифах. Так размножаются, например, пеницилл и аспергилл.

У высших грибов (базидиальных и сумчатых) гаплоидные споры образуются в ходе полового размножения. В одной зерновке пшеницы, поражённой твёрдой головнёй, образуется от 8 до 20 млн спор, а во всём колосе — до 200 млн. У некоторых видов грибов количество спор, продуцируемых в сутки, достигает 30 млрд! Потери спор очень велики, лишь ничтожная часть их попадает в благоприятные для прорастания условия. Однако те споры, которым «не повезло», могут долго дожидаться своего часа. Так, например, споры головнёвых грибов сохраняют жизнеспособность в течение 25 лет.

Особенности вегетативного размножения. Особенно часто встречаются различные формы вегетативного размножения среди растений, обитающих в суровых климатических условиях — в полярных, высокогорных и степных районах. Неожиданные заморозки в летний день способны погубить цветки или незрелые плоды тундровых растений. Вегетативное размножение позволяет им не зависеть от подобных неожиданностей. Некоторые камнеломки и горец живородящий способны образовывать выводковые почки, которые распространяются подобно семенам, мятлики образуют в соцветиях на месте цветков маленькие дочерние растеньица, способные опадать и укореняться, а сердечник луговой размножается исключительно видоизменёнными дольками перисто-рассечённых листьев.

Повторите и вспомните!

Растения

Искусственное вегетативное размножение растений. При искусственном вегетативном размножении растений человек использует все виды вегетативного размножения, встречающиеся в природе. Однако существуют и дополнительные специальные методы.

Листовые черенки. Сравнительно немногие растения (узambarская фиалка, бегония, гloxиния) могут восстанавливаться из отрезанных листьев.

Деление куста. Разделение растения с побегами и корнями в продольном направлении на несколько частей, которые затем рассаживают (пионы, флоксы).

Отводки. Нижние ветки растения (смородины, крыжовника) пригибают к земле, фиксируют и присыпают землёй. Когда на ветке образуются придаточные корни, её отрезают от материнского куста и пересаживают.

Прививка. Метод основан на пересадке частей одного или нескольких растений на другое растение, имеющее корневую систему. Растение, имеющее корневую систему, называют подвоем, второе, которое сращивают с подвоем, — *привоем*. Существуют разные способы прививки. *Окулировка* — это прививка почкой, или

глазком. На небольшом расстоянии от почвы на стволе подвоя делают Т-образный разрез, отодвигают кору и под неё вставляют привой — срезанный глазок вместе с плоским кусочком древесины. Затем на место операции накладывают плотную повязку. Через 10—15 дней фрагменты срастаются.

Копулировка — это прививка черенками. При одинаковой толщине подвоя и привоя на них делают косые срезы, прикладывают друг к другу поверхностями срезов и накладывают повязку. Если подвой большего диаметра, черенок прививают в расщеп или под кору.

Аблактировку, или *метод сближения*, можно использовать, если соединяемые растения растут рядом. На обоих растениях делают одинаковые по длине срезы коры, срезанные поверхности сближают, прикладывают друг к другу и туго забинтовывают вместе. В таком состоянии растения находятся всё лето и зиму.

Цветки: обоеполые и однополые. У большинства видов покрытосеменных растений в цветке находятся и тычинки, в пыльце которых образуются мужские половые клетки — спермии, и пестики, содержащие яйцеклетки.

Однако примерно у четверти видов мужские (тычиночные) и женские (пестичные) цветки развиваются независимо, т. е. формируются однополые цветки. Примерами однополых растений, у которых мужские и женские цветки образуются на разных особях, могут служить облепиха, ива, тополь. Такие растения называют двудомными. У некоторых растений, например у дуба, берёзы, лещины, и мужские, и женские цветки развиваются на одной особи (однодомные растения).

20. Образование половых клеток у животных. Мейоз

Вспомните!

Где в организме человека происходит образование половых клеток?
Какой набор хромосом содержат гаметы? Почему?

Для осуществления полового размножения необходимы специализированные клетки — *гаметы*, содержащие одинарный (гаплоидный) набор хромосом. При их слиянии (оплодотворении) происходит образование диплоидного набора, в котором каждая хромосома имеет пару — гомологичную хромосому. В каждой паре гомологичных хромосом одна хромосома получена от отца, а вторая — от матери.

У животных процесс образования половых клеток — *гаме-тогенез* — протекает в специальных органах — половых железах (гонадах). У большинства животных мужские половые клетки (сперматозоиды) образуются в семенниках, женские гаметы (яйцеклетки) — в яичниках. Развитие яйцеклеток называют *овогенезом* или *оогенезом*, а сперматозоидов — *сперматогенезом*.

Строение половых клеток.

Яйцеклетки — это относительно крупные неподвижные клетки округлой формы. У некоторых рыб, пресмыкающихся и птиц они содержат большой запас питательных веществ в виде желтка и имеют размеры от 10 мм до 15 см. Яйцеклетки млекопитающих, в том числе и человека, гораздо мельче (0,1— 0,3 мм) и желтка практически не содержат.

Сперматозоиды — мелкие подвижные клетки, у человека их длина всего около 60 мкм. У разных организмов они отличаются формой и размерами, но, как правило, все сперматозоиды имеют головку, шейку и хвост, обеспечивающий их подвижность. В головке сперматозоида находится ядро, содержащее хромосомы, и акросома — особый пузырёк с ферментами, необходимыми для растворения оболочки яйцеклетки. В шейке сосредоточены митохондрии, которые обеспечивают движущийся сперматозоид энергией (рис. 63). ■

Образование половых клеток. Развитие половых клеток подразделяют на несколько стадий: размножение, рост, созревание, а в процессе сперматогенеза выделяют ещё и стадию формирования (рис. 64).

Стадия размножения. На этой стадии клетки, формирующие стенки половых желёз, активно делятся митозом, образуя незрелые половые клетки. Эта стадия у мужчин начинается с наступлением половой зрелости и продолжается почти всю жизнь. У женщин образование первичных половых клеток завершается ещё в эмбриональном

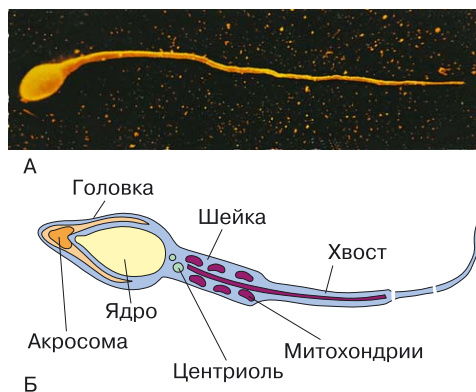


Рис. 63. Сперматозоид млекопитающего: А — электронная фотография; Б — схема строения

■ Сперматозоиды впервые были описаны голландским естествоиспытателем А. Левенгуком в 1677 г. Он же и ввёл этот термин — сперматозоид (от греч. *sperma* — семя и *zoon* — живое существо), т. е. живое семя. Яйцеклетка млекопитающих была открыта в 1827 г. российским учёным К. М. Бэр.

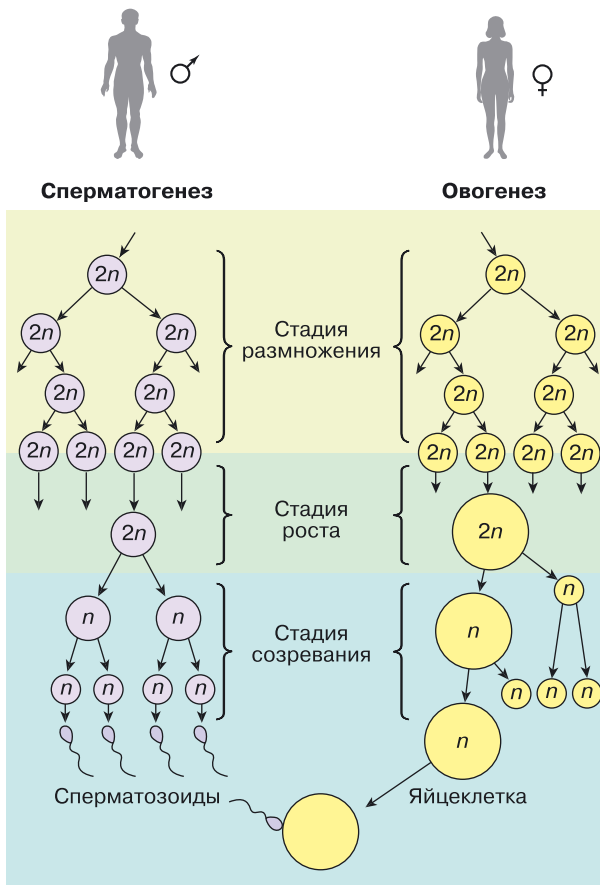


Рис. 64. Гаметогенез у человека

периоде, т. е. общее количество яйцеклеток, которые у женщины будут созревать в течение её репродуктивного периода, определяется уже на ранней стадии развития женского организма. На стадии размножения первичные половые клетки, как и все остальные клетки тела, диплоидны.

Стадия роста. На стадии роста, которая гораздо лучше выражена в овогенезе, происходит увеличение цитоплазмы клеток, накопление необходимых веществ и редупликация ДНК (удвоение хромосом).

Стадия созревания. Третья стадия — это мейоз. **Мейоз** — это особый способ деления клеток, приводящий к уменьшению числа хромосом вдвое и к переходу клетки из диплоидного состояния в гаплоидное.

Будущие гаметы на стадии созревания делятся дважды. Клетки, приступающие к мейозу, содержат диплоидный набор уже удвоенных хромосом. В процессе двух мейотических делений из одной диплоидной клетки образуются четыре гаплоидные.

Мейоз состоит из двух последовательных делений, которым предшествует однократное удвоение ДНК, осуществлённое на стадии роста. В каждом делении мейоза выделяют четыре фазы, характерные и для митоза (профаза, метафаза, анафаза, телофаза), однако они отличаются некоторыми особенностями (рис. 65).

Профаза первого мейотического деления (*профаза I*) значительно длиннее, чем профаза митоза. В это время удвоенные хромосомы, каждая из которых состоит уже из двух сестринских хроматид, спирализуются и приобретают компактные размеры. Затем гомологичные хромосомы располагаются параллельно друг другу, образуя так называемые биваленты или тетрады, состоящие из двух хромосом (четырёх хроматид). Между гомологичными хромосомами может произойти обмен соответствующими гомологичными участками (кроссинговер), что приведёт к рекомбинации наследственной информации и образованию новых сочетаний отцовских и материнских генов в хромосомах будущих гамет (рис. 66).

К концу профазы I ядерная оболочка разрушается.

В *метафазе I* гомологичные хромосомы попарно в виде бивалентов, или тетрад, располагаются в экваториальной плоскости клетки, и к их центромерам присоединяются нити веретена деления.

В *анафазе I* гомологичные хромосомы из бивалента (тетрады) расходятся к полюсам. Следовательно, в каждую из двух образующихся клеток попадает только одна из каждой пары гомологичных хромосом — число хромосом уменьшается в два раза, хромосомный набор становится гаплоидным. Однако каждая хромосома при этом всё ещё состоит из двух сестринских хроматид.

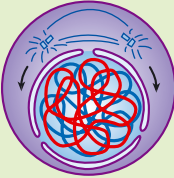
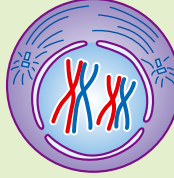
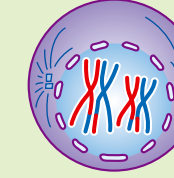
В *телофазе I* образуются клетки, имеющие гаплоидный набор хромосом и удвоенное количество ДНК.

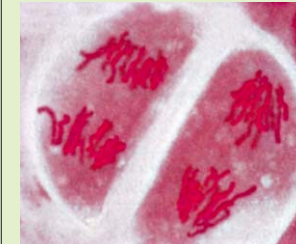
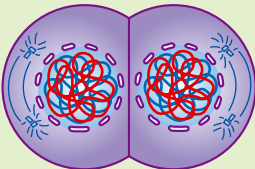
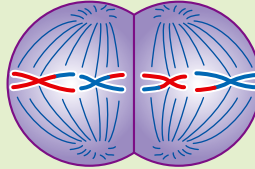
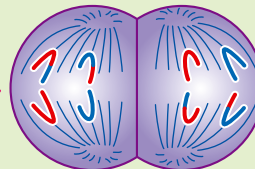
Спустя короткий промежуток времени клетки приступают ко второму мейотическому делению, которое протекает как типичный митоз, но отличается тем, что участвующие в нём клетки гаплоидны.

В *профазе II* разрушается ядерная оболочка. В *метафазе II* хромосомы выстраиваются в экваториальной плоскости клетки, нити веретена деления соединяются с центромерами хромосом. В *анафазе II* центромеры, соединяющие сестринские хроматиды, делятся, хроматиды становятся самостоятельными дочерними хромосомами и расходятся к разным полюсам клетки. *Телофаза II* завершает второе деление мейоза.

В результате мейоза из одной исходной диплоидной клетки, содержащей удвоенные молекулы ДНК, образуется четыре гаплоидные клетки, каждая хромосома которых состоит из одиночной молекулы ДНК.

При сперматогенезе на стадии созревания в результате мейоза образуется четыре одинаковые клетки — предшественники спермато-

		
Профаза I 	Профаза I 	Профаза I 
Хромосомы, состоящие из двух хроматид, спирализуются. Начинает формироваться веретено деления	Гомологичные хромосомы располагаются параллельно друг другу, образуя биваленты (тетрады)	Между гомологичными хромосомами происходит обмен гомологичными участками. Ядерная оболочка разрушается

		
Профаза II 	Метафаза II 	Анафаза II 
Ядерная оболочка разрушается, начинает формироваться веретено деления	Хромосомы располагаются в экваториальной плоскости. К центромерам присоединяются нити веретена деления	Центромеры делятся, и сестринские хроматиды расходятся к разным полюсам клетки

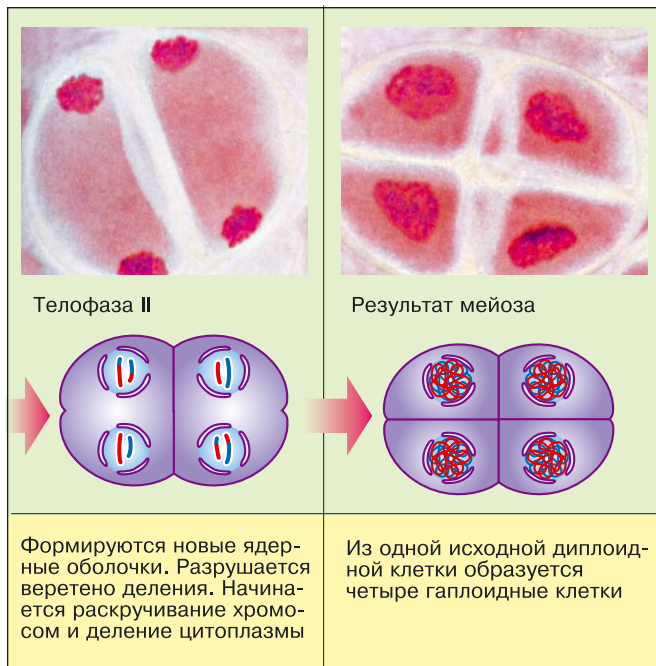
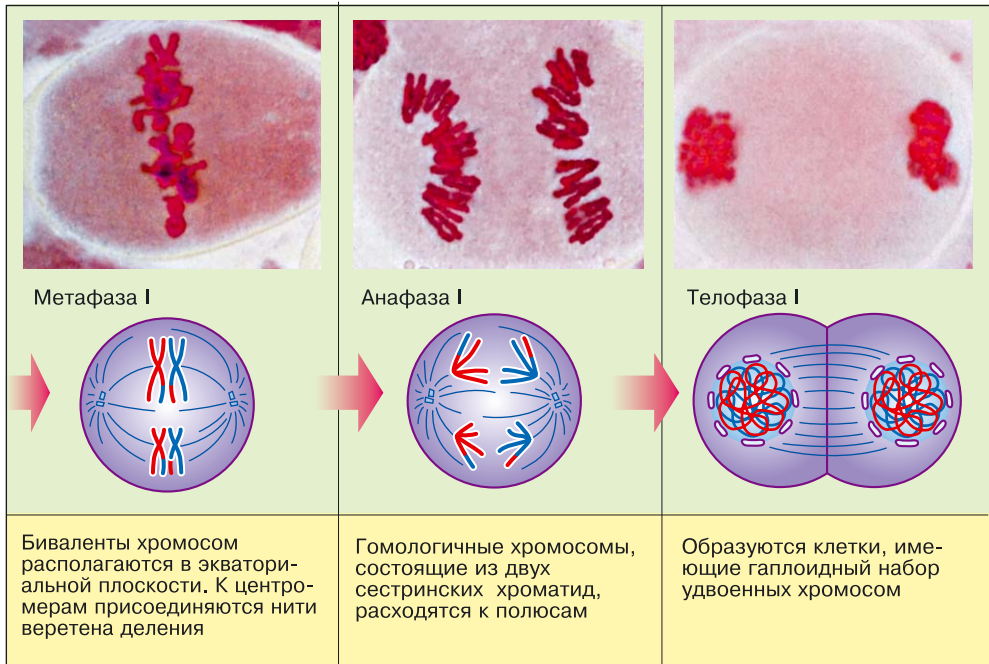
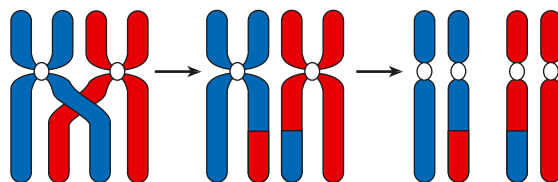


Рис. 65. Фазы мейоза

Рис. 66. Перекрёст хромосом и обмен гомологичными участками



зоидов, которые на стадии формирования приобретают характерный вид зрелого сперматозоида и становятся подвижными.

Мейотические деления в овогенезе характеризуются рядом особенностей. Профаза I завершается ещё в эмбриональном периоде, т. е. к моменту рождения девочки в её организме уже имеется полный набор будущих яйцеклеток. Остальные события мейоза продолжаются только после полового созревания женщины. Каждый месяц в одном из яичников у женщины продолжает развитие одна из остановившихся в своем делении клеток. В результате первого деления мейоза образуется крупная клетка — предшественник яйцеклетки и маленькое, так называемое полярное, тельце, которые вступают во второе деление мейоза. На стадии метафазы II предшественница яйцеклетки овулирует, т. е. выходит из яичника в брюшную полость, откуда попадает в яйцевод. Если происходит оплодотворение, второе мейотическое деление завершается — образуется зрелая яйцеклетка и второе полярное тельце. Если слияния со сперматозоидом не происходит, не закончившая деление клетка погибает и выводится из организма.

Полярные тельца служат для удаления избытка генетического материала и перераспределения питательных веществ в пользу яйцеклетки. Спустя некоторое время после деления они погибают.

Значение гаметогенеза. В результате гаметогенеза образуются половые клетки, содержащие гаплоидный набор хромосом, что позволяет при оплодотворении восстанавливать число хромосом, характерное для вида. В отсутствие мейоза слияние гамет приводило бы к удвоению числа хромосом у каждого последующего поколения, возникающего в результате полового размножения. Этого не происходит благодаря существованию особого процесса — мейоза, во время которого диплоидное число хромосом ($2n$) сокращается до гаплоидного ($1n$). Таким образом, биологическая роль мейоза заключается в поддержании постоянства числа хромосом в ряду поколений вида.

Вопросы для повторения и задания

1. Сравните строение мужских и женских половых клеток. В чём их сходство и различия?

2. От чего зависит размер яйцеклеток? Объясните, почему яйцеклетки млекопитающих — одни из самых мелких.
3. Какие периоды выделяют в процессе развития половых клеток?
4. Расскажите, как протекает период созревания (мейоз) в процессе сперматогенеза; овогенеза.
5. Перечислите отличия мейоза от митоза.
6. В чём заключается биологический смысл и значение мейоза?

Подумайте! Выполните!

1. Организм развился из неоплодотворённой яйцеклетки. Являются ли его наследственные признаки точной копией признаков материнского организма?
2. Объясните, почему для обозначения мужских половых клеток существует два термина: спермии (например, у покрытосеменных растений) и сперматозоиды.
3. Опираясь на знания, полученные при изучении курса «Биология растений», вспомните, как происходит образование половых клеток у растительных организмов. В результате какого деления — митоза или мейоза — они образуются? Что формируется у растений в результате мейотического деления?

Повторите и вспомните!

Человек

Половые клетки. Образование сперматозоидов у мужчин начинается с момента полового созревания. Длительность всех четырёх фаз сперматогенеза составляет около 80 дней. За всю жизнь в организме мужчины образуется огромное количество сперматозоидов — до 10^{10} .

Несмотря на то что в женском эмбрионе закладывается очень много яйцеклеток, созревают из них лишь немногие. За репродуктивный период, т. е. когда женщина способна к деторождению, окончательно формируются около 400 яйцеклеток.

Развитие половых клеток (овогенез и сперматогенез) определяет здоровье будущего поколения. Курение, употребление алкогольных напитков, наркотических препаратов может оказать необратимое влияние на формирующиеся половые клетки, что в дальнейшем приведёт к бесплодию или рождению ребёнка с наследственными или врождёнными нарушениями.

21. Оплодотворение

Вспомните!

Какой набор хромосом имеет зигота?

Для каких животных характерно наружное оплодотворение?

У каких организмов существует двойное оплодотворение?

Для осуществления полового размножения организму недостаточно просто сформировать половые клетки — гаметы, надо обеспечить возможность их встречи. *Процесс слияния сперматозоида и яйцеклетки, сопровождающийся объединением их генетического материала, называют оплодотворением.* В результате оплодотворения образуется диплоидная клетка — *зигота*, активация и дальнейшее развитие которой приводит к формированию нового организма. При слиянии половых клеток разных особей осуществляется *перекрёстное оплодотворение*, а при объединении гамет, продуцируемых одним организмом, — *самооплодотворение*.

Существует два основных типа оплодотворения — наружное (внешнее) и внутреннее.

■ Яйцеклетки большинства млекопитающих сохраняют способность к оплодотворению в течение ограниченного времени после овуляции, как правило, не более 24 часов. Сперматозоиды, покинувшие мужскую половую систему, живут тоже очень недолго. Так, у большинства рыб сперматозоиды погибают в воде уже спустя 1—2 минуты, в половых путях кролика живут до 30 часов, у лошадей 5—6 суток, а у птиц до 3 недель. Сперматозоиды человека во влагалище женщины гибнут спустя 2,5 часа, но те, которые успевают добраться до матки, сохраняют жизнеспособность в течение двух и более суток. Существуют в природе и исключительные случаи, например сперматозоиды пчёл сохраняют способность к оплодотворению в семяприёмнике самок в течение нескольких лет.

Наружное оплодотворение.

При наружном оплодотворении половые клетки сливаются вне организма самки. Например, рыбы мечут икру (яйцеклетки) и молоку (сперму) прямо в воду, где происходит наружное оплодотворение. Подобным образом осуществляется размножение у земноводных, многих моллюсков и некоторых червей. При наружном оплодотворении встреча яйцеклетки и сперматозоида зависит от самых разных факторов внешней среды, поэтому при таком типе оплодотворения организмы обычно образуют огромное количество половых клеток. Например, озёрная лягушка откладывает до 11 тыс. яиц, атлантическая сельдь вымётывает около 200 тыс. икринок, а рыба-луна — почти 30 млн.

Внутреннее оплодотворение. При внутреннем оплодотворении встреча гамет и их слияние происходит в половых путях самки. Благодаря согласованному поведению самца и самки и наличию специальных совокупительных органов мужские половые клетки поступают непосредственно в женский организм. Так происходит оплодотворение у всех наземных и некоторых водных животных. В этом случае вероятность успешного оплодотворения высока, поэтому половых клеток у таких особей гораздо меньше.

Количество половых клеток, которые образует организм, зависит также от степени заботы родителей о потомстве. Например, треска вымётывает 10 млн икринок и никогда не возвращается к месту кладки, африканская рыбка тилипия, вынашивающая икру во рту, — не более 100 икринок, а млекопитающие, обладающие сложным родительским поведением, обеспечивающим заботу о потомстве, рожают всего одного или нескольких детёнышей.

У человека, как и у всех остальных млекопитающих, оплодотворение происходит в яйцеводах, по которым яйцеклетка движется по направлению к матке. Сперматозоиды преодолевают огромное расстояние до встречи с яйцеклеткой, и лишь один из них проникает в яйцеклетку. После проникновения сперматозоида яйцеклетка формирует на поверхности толстую оболочку, непроницаемую для остальных сперматозоидов.

Если оплодотворение произошло, яйцеклетка завершает своё мейотическое деление (§ 20) и два гаплоидных ядра сливаются в зиготе, объединяя генетический материал отцовского и материнского организмов. Образуется уникальная комбинация генетического материала нового организма. ■

Оплодотворённая яйцеклетка может развиваться в теле материнского организма, как это происходит у плацентарных млекопитающих, или во внешней среде, как у птиц и пресмыкающихся. Во втором случае она покрывается специальными защитными оболочками (яйца птиц и пресмыкающихся). ■

■ У некоторых видов организмов встречается особая форма полового размножения — без оплодотворения. Такое развитие называют *партеногенезом* (от греч. *partenos* — девственница, *genesis* — возникновение) или девственным развитием. В этом случае дочерний организм развивается из неоплодотворённой яйцеклетки на основе генетического материала одного из родителей, и образуются особи только одного пола. Естественный партеногенез даёт возможность резкого увеличения численности потомства и существует в тех популяциях, где контакт разнополых особей затруднён. Партеногенез встречается у животных разных систематических групп: у пчёл, тлей, низших ракообразных, скальных ящериц и даже у некоторых птиц (индеек).

Одним из главных механизмов, который обеспечивает оплодотворение строго внутри вида, является соответствие числа и строения хромосом женских и мужских гамет, а также химическое сродство цитоплазмы яйцеклетки и ядра сперматозоида. Даже если чужеродные половые клетки и соединяются при оплодотворении, это, как правило, приводит к ненормальному развитию зародыша или к рождению стерильных гибридов, т. е. особей, неспособных к деторождению.

Двойное оплодотворение. Особый тип оплодотворения характерен для цветковых растений. Он был открыт в конце XIX в. российским учёным Сергеем Гавриловичем Навиным и получил название *двойного оплодотворения* (рис. 67).

Во время опыления пыльца попадает на рыльце пестика. Пыльцевое зерно (мужской гаметофит) состоит всего из двух клеток. Генеративная клетка делится, образуя два неподвижных спермия, а вегетативная клетка, прорастая внутрь пестика, формирует пыльцевую трубку. В завязи пестика развивается женский гаметофит — зароды-

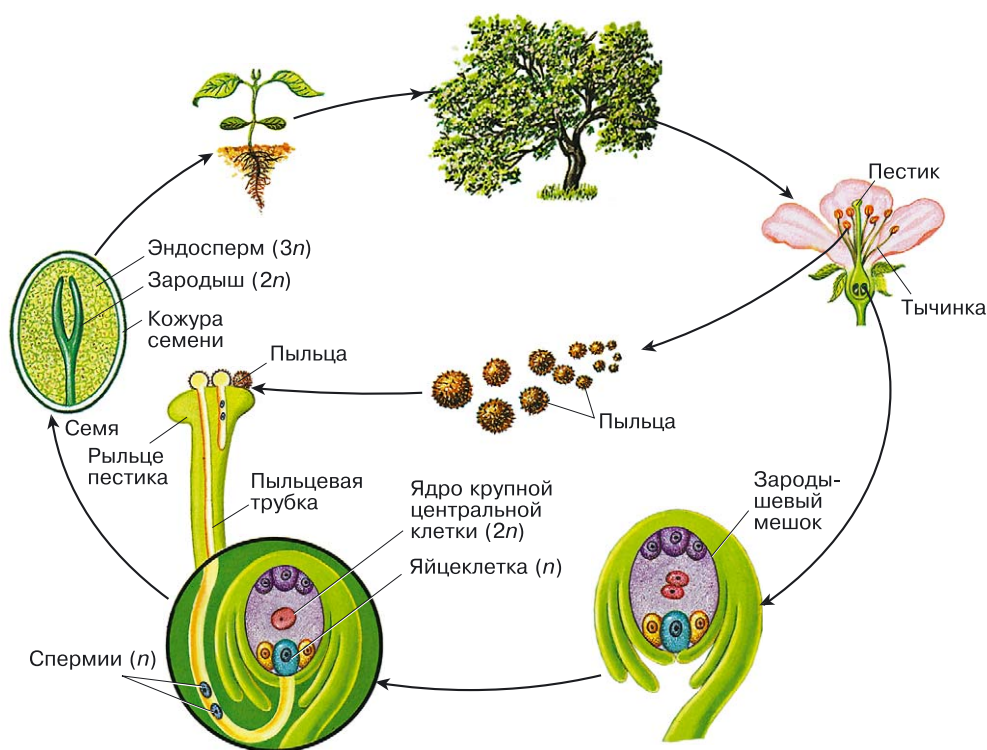


Рис. 67. Двойное оплодотворение у цветковых растений

шевый мешок с восемью гаплоидными ядрами. Два из них сливаются, формируя центральное диплоидное ядро. В результате дальнейшего деления цитоплазмы зародышевого мешка образуется семь клеток: яйцеклетка, центральная диплоидная клетка и пять вспомогательных.

После того как пыльцевая трубка прорастает в основание пестика, спермии, находящиеся внутри неё, проникают в зародышевый мешок. Один спермий оплодотворяет яйцеклетку, — возникает диплоидная зигота; из неё в дальнейшем развивается зародыш. Другой спермий сливается с ядром крупной центральной диплоидной клетки, образуя клетку с тройным хромосомным набором (триплоидную), из которой затем формируется эндосперм — питательная ткань для зародыша. Таким образом, у покрытосеменных растений в оплодотворении участвует два спермия, т. е. осуществляется двойное оплодотворение.

Искусственное оплодотворение. Большое значение в современном сельском хозяйстве имеет искусственное оплодотворение, приём, который широко применяется в селекции при выведении и улучшении пород животных и сортов растений. В животноводстве при помощи искусственного осеменения можно получить многочисленное потомство от одного выдающегося производителя. Сперма таких животных хранится в специальных низкотемпературных условиях и сохраняет жизнеспособность в течение долгого времени (десятки лет).

Искусственное опыление в растениеводстве позволяет осуществлять определённое, заранее запланированное скрещивание и получать сорта растений с необходимым сочетанием родительских свойств.

В современной медицине при лечении бесплодия используется искусственное оплодотворение спермой донора и экстракорпоральное (внетелесное) оплодотворение — метод, разработанный впервые в 1978 г. и известный под названием «ребёнок из пробирки». Этот метод заключается в оплодотворении яйцеклеток вне организма и последующем переносе 3—5-дневных эмбрионов в полость матки для продолжения их нормального развития. ■

■ К 2010 г. с помощью экстракорпорального оплодотворения было зачато уже около 4 млн детей. Однако использование донорской спермы, донорских яйцеклеток и даже суррогатных матерей порождает целый ряд этических и социальных проблем. Многие люди, опираясь на религиозные и моральные соображения, выступают против любых вмешательств в размножение человека, в том числе против экстракорпорального и искусственного оплодотворения.

Вопросы для повторения и задания

1. Что такое оплодотворение?
2. Какие типы оплодотворения вы знаете?
3. В чём заключается процесс двойного оплодотворения?
4. Каково значение искусственного оплодотворения в растениеводстве и животноводстве?

Подумайте! Выполните!

1. Как вы считаете, в чём преимущество двойного оплодотворения у покрытосеменных растений по сравнению с оплодотворением у голосеменных?
2. Достаточно ли знать, что в размножении участвует только одна особь, чтобы сделать вывод о том, что это размножение — бесполое?
3. Объясните, почему при экстракорпоральном оплодотворении часто рождаются близнецы.
4. Организуйте и проведите дискуссию «Экстракорпоральное оплодотворение: за и против».

Повторите и вспомните!

Растения

Опыление. Двойному оплодотворению у цветковых растений предшествует *опыление* — перенос пыльцы (пыльцевых зёрен) на рыльце пестика. Опыление осуществляется различными способами. Если пыльца цветка попадает на рыльце пестика этого же цветка, происходит *самоопыление*. Перенос пыльцы на рыльце пестика другого цветка называют *перекрёстным опылением*.

Самоопыление характерно для небольшого числа цветковых растений. Учёные считают, что самоопыление возникло вторично, когда какие-то обстоятельства стали препятствовать осуществлению перекрёстного опыления. Биологически самоопыление менее выгодно, поскольку при этом не происходит обмен генетической информацией между различными особями вида.

Перекрёстное опыление распространено у покрытосеменных растений гораздо шире, чем самоопыление. Биологически перекрёстное опыление более благоприятно, чем самоопыление, потому что оно даёт возможность объединять генетическую информацию разных особей. Появляется потомство, отличающееся от родительских особей. Это способствует приспособлению вида к изменяющимся условиям обитания.

Перекрёстное опыление может осуществляться различными способами. Условно их можно разделить на две группы: абиотическое опыление (при помощи ветра или воды) и биотическое (при помощи животных). В роли опылителей могут выступать разные животные: насекомые, птицы, млекопитающие.

22. Индивидуальное развитие организмов

Вспомните!

Из каких периодов складывается индивидуальное развитие организма?
Что такое развитие с метаморфозом?
Для каких организмов характерен такой тип развития?

*Индивидуальное развитие особи, всю совокупность её преобразований от возникновения до конца жизни называют **онтогенезом**. Согласно современным научным представлениям, в клетке, с которой начинается онтогенез особи, заложена определённая программа дальнейшего развития организма. В процессе онтогенеза эта наследственная программа реализуется путём взаимодействия ядра и цитоплазмы каждой клетки, отдельных клеток друг с другом и тканей между собой. В результате этих сложных взаимоотношений на основе имеющейся генетической информации и в зависимости от внешних условий формируется конкретная индивидуальность особи.*

У бактерий и одноклеточных эукариотических организмов онтогенез начинается в момент образования организма в результате деления материнской клетки и завершается или гибелью клетки, или очередным делением организма, т. е., по сути, совпадает с клеточным циклом.

У многоклеточных организмов, которые размножаются бесполым путём, онтогенез начинается с обособления одной или нескольких клеток материнского организма, дающих начало новой особи.

У организмов, размножающихся половым путём, индивидуальное развитие начинается с момента оплодотворения и образования зиготы и подразделяется на два периода: эмбриональный (период зародышевого развития) и постэмбриональный (период послезародышевого развития). Соотношение длительности этих периодов у организмов разных видов может сильно отличаться.

Эмбриональный период (эмбриогенез). Этот период длится от момента образования зиготы до выхода зародыша из яйца или рождения. Он протекает в несколько этапов (рис. 68). На первой стадии, которая называется *дроблением*, оплодотворённая яйцеклетка де-

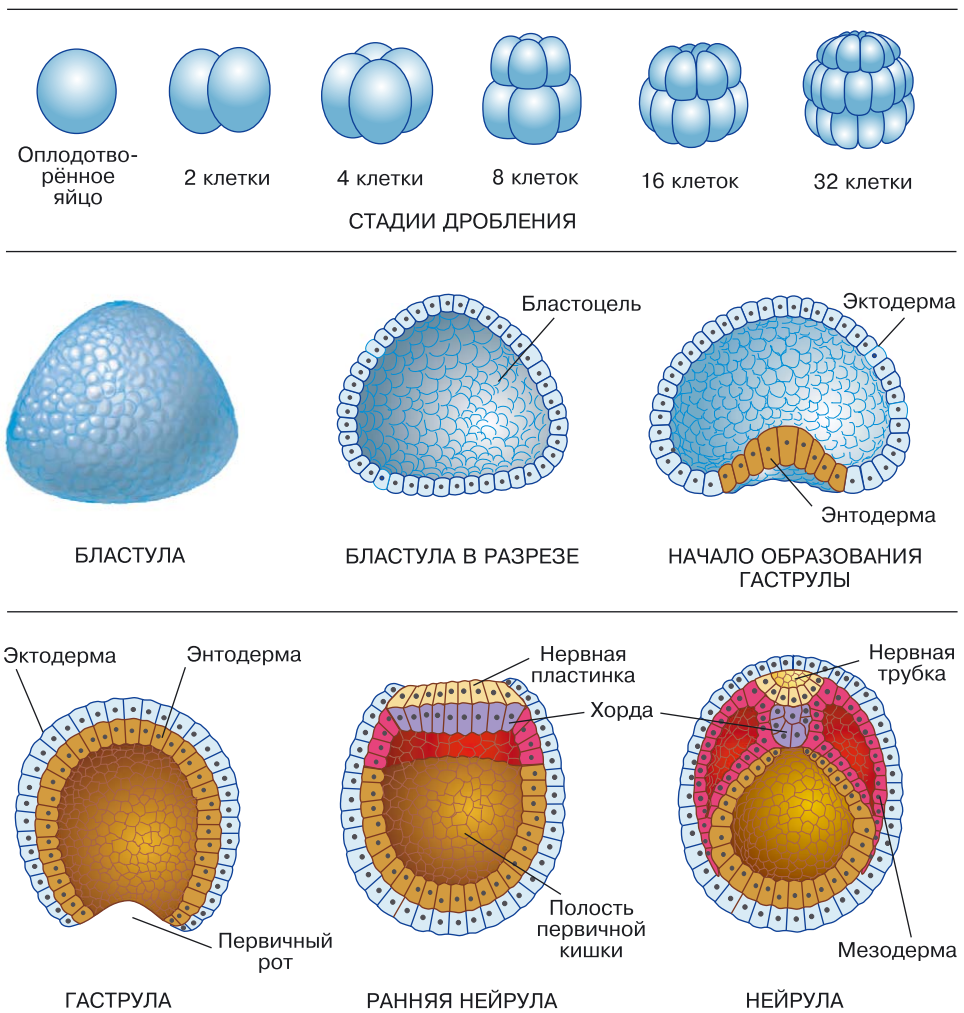


Рис. 68. Дробление оплодотворённого яйца ланцетника и образование зародышевых листков

лится митозом, в результате чего получается 2, 4, 8, 16 и т. д. клеток, которые плотно прилегают друг к другу. Интерфаза между делениями очень короткая, клетки не растут, поэтому процесс дробления происходит очень быстро. Заканчивается дробление образованием *бластулы* — полого шарика, стенка которого состоит из одного слоя клеток. Далее на одном из полюсов бластулы клетки начинают делиться более активно и углубляются внутрь шарообразного зародыша, образуя впячивание. В результате этого процесса формируется двухслойный зародыш — *гастроула*. Два слоя клеток, образующих её стенки, называются *зародышевыми листками*: наружный листок — *эктодерма* и внутренний — *энтодерма*.

У всех животных, кроме губок и кишечнополостных, в дальнейшем, на стадии поздней гаструлы между эктодермой и энтодермой образуется третий зародышевый листок — *мезодерма*.

Дальнейшее развитие зародыша связано с взаимодействием трёх зародышевых листков, из которых формируются все ткани и органы организма. Развитие систем органов зародыша — *органогенез* — происходит в определённой последовательности. У хордовых животных он начинается с образования зачатка хорды и нервной системы. На спинной стороне зародыша происходит обособление группы клеток эктодермы в виде длинной пластинки. Эти клетки начинают активно делиться, погружаясь в тело зародыша и образуя желобок, края которого постепенно сближаются, а затем смыкаются, формируя первичную нервную трубку.

Кроме нервной системы из эктодермы возникают также кожные железы, эмаль зубов, волосы, ногти, кожный эпителий. Энтодерма даёт начало тканям, выстилающим кишечник и дыхательные пути, образует печень и поджелудочную железу. Из мезодермы образуются мышцы, хрящевой и костный скелет, органы выделительной, половой и кровеносной систем организма.

В процессе эмбриогенеза между частями развивающегося зародыша существует тесное взаимодействие: зачаток одного органа или системы органов определяет (индуцирует) местоположение и время образования другого органа или системы органов. ■

Дифференцировка клеток зародыша возникает не сразу, а на определённом этапе развития. На ранних стадиях дробления клетки зародыша ещё не специализированы, поэтому каж-

■ Взаимовлияние частей зародыша было продемонстрировано в многочисленных экспериментах. Немецкие исследователи Ханс Шпеман, Отто и Хильда Мангольд брали у зародыша тритона на стадии ранней гаструлы участок спинной стороны тела, из которого в дальнейшем должна была развиваться хорда и мезодерма, и пересаживали его на брюшную сторону другой гаструлы. В результате на брюшной стороне второго зародыша из клеток, которые должны были дать начало кожным покровам, формировалась дополнительная нервная трубка. Это явление получило название *эмбриональной индукции*.

■ У некоторых животных зародыш на ранней стадии развития делится на несколько фрагментов. При этом каждый из образовавшихся фрагментов даёт начало полноценному организму. В результате все детёныши одного поколения оказываются абсолютными копиями друг друга. Такой тип размножения характерен для броненосцев. Поэтому в помёте девятипоясного броненосца тату всегда чётное количество однополых детёнышей.



Рис. 69. Последовательные стадии метаморфоза у лягушки (снизу вверх): головастики в икринках, начало метаморфоза, лягушонок с остатками хвоста

дая из них может дать начало целому организму. Если по какой-либо причине эти клетки разъединяются, образуются два одинаковых эмбриона, содержащих идентичную генетическую информацию, каждый из которых развивается в полноценную особь. В итоге рождаются однояйцевые, или монозиготные, близнецы. В человеческой популяции это единственные люди, имеющие идентичный генотип и являющиеся копиями друг друга. ■

Постэмбриональный период.

Этот период начинается с момента рождения организма и заканчивается его смертью.

Различают непрямой и прямой типы постэмбрионального развития.

Непрямое развитие. Непрямой, или личиночный, тип развития характерен для многих беспозвоночных и некоторых позвоночных животных (рыб и земноводных). Это предполагает рождение особи, порой совершенно непохожей на взрослый организм. В процессе непрямого развития особь проходит через одну или несколько личиночных стадий (головастик у лягушки, гусеница у бабочки) (рис. 69). Личинки ведут самостоятельную жизнь, активно питаются, растут и развиваются. По истечении определённого времени личинка превращается во взрослую особь — происходит *метаморфоз*, поэтому иногда этот тип развития называют *развитием с метаморфозом*. При метаморфозе разрушаются личиночные органы

и возникают органы, присущие взрослым животным.

Для многих видов наличие личиночной стадии в процессе развития — это возможность расселения и отсутствие конкуренции особей разного возраста за место обитания и пищу.

Прямое развитие. Такой тип развития характерен для организмов, детёныши которых рождаются уже похожими на взрослых особей. Только что вылупившийся утёнок, родившийся щенок или ребёнок человека отличается от взрослого меньшими размерами, несколько иными пропорциями тела и недоразвитием некоторых систем органов, например половой. Прямое развитие бывает яйцекладное или внутриутробное.

Неличиночный, или яйцекладный, тип развития характерен для пресмыкающихся, птиц, яйцекладущих млекопитающих и ряда беспозвоночных. Яйца этих организмов богаты питательными веществами (желтком), и зародыш может длительное время развиваться внутри яйца.

Внутриутробный тип развития характерен для всех высших млекопитающих, в том числе и человека. Все жизненные функции зародыша при этом типе развития осуществляются посредством взаимодействия с материнским организмом через специальный орган — плаценту.

Зародышевое развитие заканчивается процессом рождения. После рождения обычно наблюдается активный рост организма, т. е. увеличение его размеров и массы. Большинство животных, взрослея, растут всё медленнее и, достигнув определённого возраста, расти перестают. Такой тип роста называют *определённым*. При *неопределённом* типе роста организмы растут всю жизнь, как, например, моллюски, рыбы и земноводные. После завершения активного роста организм вступает в стадию зрелости, которая связана с деторождением. Заканчивается процесс индивидуального развития старением и смертью.

Вопросы для повторения и задания

1. Что называют индивидуальным развитием организма? Дайте определение этого понятия.
2. Перечислите периоды онтогенеза.
3. Какое развитие называют эмбриональным, а какое — постэмбриональным?
4. Какие существуют типы постэмбрионального развития организма? Приведите примеры.
5. В чём заключается биологическое значение метаморфоза?
6. Расскажите о зародышевых листках.
7. Что такое дифференцировка клеток? Как вы думаете, что может стать причиной нарушения дифференцировки клеток в процессе развития?
8. Охарактеризуйте понятие «рост». Что такое определённый рост; неопределённый рост? Какой тип роста характерен для растительных организмов?

Подумайте! Выполните!

1. Почему из равноценных в начале развития зародышевых клеток образуются разные ткани и органы?
2. Известны ли вам виды организмов, чей период эмбрионального развития более продолжителен, чем постэмбриональный? Если да, то объясните, с чем связаны такие особенности.
3. Как вы понимаете следующее высказывание: «В построении любого органа или части организма принимают участие производные нескольких зародышевых листков»? Приведите примеры, доказывающие это утверждение.
4. Вспомните из предыдущих курсов биологии, чем отличается развитие яйцекладущих млекопитающих (подкласс Первозвери) и представителей инфракласса Низшие звери (отряд Сумчатые) от развития остальных млекопитающих (инфракласс Высшие звери).

Повторите и вспомните!

Растения

Жизненный цикл растений: чередование поколений. В жизненном цикле каждого растения, имеющего половое размножение, происходит смена ядерных фаз — гаплоидной и диплоидной. Если органы полового и бесполого размножения образуются на разных рас-

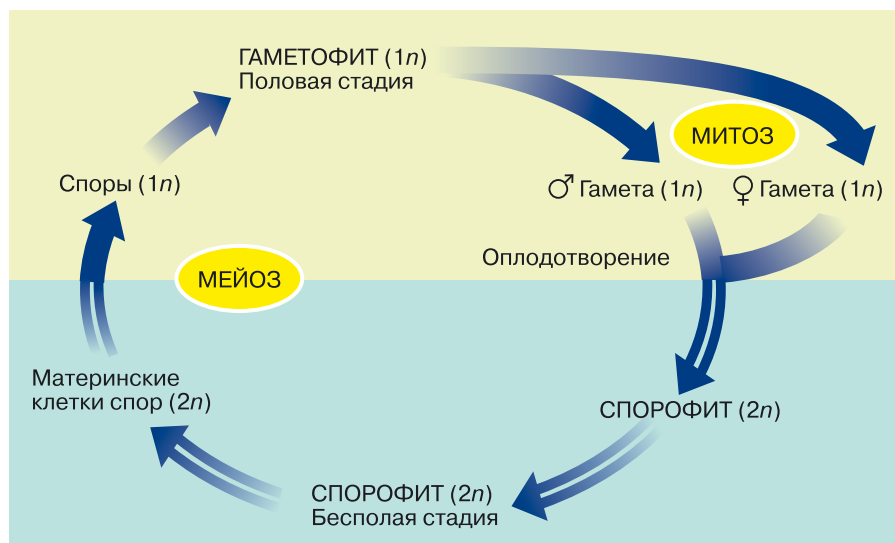


Рис. 70. Чередование поколений спорофита и гаметофита в жизненном цикле растений (схема)

тениях, имеет место чередование поколений — полового и бесполого. Происходит последовательная смена двух типов организмов: гаплоидное поколение (гаметофит) и диплоидное поколение (спорофит) поочередно сменяют друг друга (рис. 70). Половое гаплоидное поколение, образующее в половых органах гаметы, называют гаметофитом, так как оно способно к половому размножению. На гаметофитах образуются половые органы — гаметангии, в которых в процессе митоза формируются гаплоидные гаметы. Гаметангий высших растений, в котором образуется яйцеклетка, называют архегонием. Сперматозоиды образуются в антеридиях. У большинства семенных растений мужские гаметы в процессе эволюции утратили жгутики и способны только к пассивному передвижению. Такие мужские гаметы называют спермиями.

Сливаясь, гаметы образуют диплоидную зиготу, из которой вырастает бесполое диплоидное поколение — спорофит. На спорофите в спорангиях в результате мейоза образуются гаплоидные споры. Из спор вырастают гаплоидные гаметофиты, т. е. происходит возврат к гаплоидному поколению. Таким образом, чередование поколений у растений сопровождается также чередованием пloidности.

Животные

Жизненные циклы насекомых. По типу развития насекомых разделяют на две группы — с неполным и полным превращением (метаморфозом).

При развитии с *неполным превращением* в жизненном цикле насекомого сменяются следующие стадии: яйцо — личинка — взрослое насекомое (имаго). Личинка, вылупившаяся из яйца, похожа на взрослое насекомое. У них общий план строения тела, один и тот же тип ротового аппарата, а следовательно, и сходный тип питания, и обитают они обычно в одинаковых экологических условиях. Личинки отличаются от имаго недоразвитием крыльев, отсутствием вторичных половых признаков и иногда наличием специальных личиночных органов. С каждой линькой сходство со взрослым насекомым всё больше увеличивается. Неполное превращение характерно для кузнечиков, тараканов, клопов.

У насекомых с *полным превращением* число стадий увеличивается: яйцо — личинка — куколка — взрослое насекомое (имаго). Личинки таких насекомых принципиально отличаются по строению тела от взрослых насекомых. Как правило, они имеют иной тип ротового аппарата и другой тип питания (например, у гусениц — грызущий ротовой аппарат, а у бабочек — сосущий с хоботком). Часто личинки и взрослые особи обитают в разных средах (например, комар — на суше, а его личинка — в воде). Это позволя-

ет им не конкурировать за пищу. После последней линьки личинка переходит в состояние покоя — окукливается. Под оболочкой куколки разрушаются личиночные ткани, а затем образуются ткани и органы взрослого насекомого. Развитие с полным метаморфозом характерно для наиболее высокоорганизованных насекомых (жуков, бабочек, перепончатокрылых, двукрылых).

У личинок и взрослого насекомого образ жизни может отличаться коренным образом. Например, личинка кожного овода является эндопаразитом крупных позвоночных животных, а у взрослых оводов даже нет ротового аппарата. Самки откладывают яйца на шерсть животных. Из яиц выходят личинки. Они проделывают длинные ходы в теле животного, активно питаются и растут. Весной личинки вываливаются из язвы и окукливаются в земле. Из куколки выходит взрослое насекомое, которое живёт и откладывает яйца за счёт питательных веществ, накопленных личинкой.

Жизненный цикл сосальщиков — представителей типа Плоские черви. Жизненный цикл сосальщиков очень сложный. На разных стадиях развития червь меняет несколько хозяев. Во внутренних органах позвоночных животных обитает так называемое половое поколение. Это гермафродитные особи, которые откладывают оплодотворённые яйца. Половая система сосальщиков развита очень хорошо, паразиты продуцируют огромное число яиц. Животное, в котором паразит размножается половым путём, называют окончательным хозяином.

В теле промежуточного хозяина, как правило, моллюска, из неоплодотворённых яиц развивается следующее поколение. В жизненном цикле некоторых видов сосальщиков существует ещё дополнительный промежуточный хозяин (личинки насекомых, мальки рыб, рачки).

Жизненный цикл круглых червей. В жизненном цикле круглых червей обязательно присутствует четыре личиночные стадии и одна взрослая. Рост и переход к следующей стадии совершается в процессе линьки при сбрасывании старой кутикулы. Жизненный цикл паразитических нематод часто сопровождается сменой хозяев, миграциями в организме хозяина и сменой сред обитания. Вспомним жизненный цикл человеческой аскариды.

В организм человека яйца аскариды попадают в результате употребления в пищу плохо отмытых от земли овощей, фруктов, а также с водой. Существенную роль в распространении яиц аскарид играют мухи, которые переносят яйца на лапках.

В кишечнике из яиц выходят микроскопические личинки, пробуравливают стенку кишки и проникают в кровеносные сосуды. С током крови личинки попадают в печень, откуда по нижней полой вене большого круга кровообращения проникают в правую половину сердца. Из правого желудочка по лёгочной артерии малого

• круга кровообращения они достигают альвеол лёгких. При этом в лёгких могут наблюдаться воспалительные процессы и даже кровотечения. Спустя некоторое время личинки мигрируют в бронхиолы и в более крупные бронхи. За счёт движения ресничек эпителия, выстилающего дыхательные пути, личинки перемещаются по направлению к гортани. Раздражение слизистой вызывает кашель, в результате чего личинки попадают в ротовую полость и проглатываются вместе со слюной и мокротой. Так личинки вновь попадают в тонкий кишечник, где развиваются в половозрелую особь. Подобное перемещение личинок в организме хозяина занимает в среднем 1—2 недели и называется миграцией. Продолжительность жизни аскариды — около года.

23. Онтогенез человека. Репродуктивное здоровье

Вспомните!

Какой тип развития характерен для человека?

Что такое плацента?

Как образ жизни матери во время беременности влияет на здоровье будущего ребёнка?

Эмбриональное развитие. Индивидуальное развитие человека, как и всех других организмов, размножающихся половым путём, начинается с момента оплодотворения и заканчивается смертью. Зная из материала предыдущих параграфов общие принципы размножения и развития организмов, давайте рассмотрим особенности онтогенеза, характерные для человека.

Процесс эмбрионального развития человека длится около 280 суток и подразделяется на три периода: начальный (1-я неделя), зародышевый (2—8-я недели) и плодный (с 9-й недели до рождения).

Во время одного полового акта в организм женщины попадает более 200 млн сперматозоидов. Такое огромное количество

■ Одной из причин бесплодия у человека является так называемая олигоспермия — малое количество сперматозоидов в семенной жидкости. В современном мире существует масса причин, которые могут привести к подобному нарушению. Стресс и ожирение, инфекции половых органов и гормональные нарушения снижают образование сперматозоидов. Антидепрессанты, марихуана и другие наркотики, неумеренное употребление алкоголя уменьшает количество мужских половых гормонов и спермы. Влияет на численность сперматозоидов и резко снижает их подвижность курение.

мужских половых клеток необходимо, во-первых, чтобы повысить вероятность оплодотворения, а во-вторых, чтобы сформировать особую химическую среду, способствующую успешному слиянию гамет. Соединение яйцеклетки и сперматозоида, т. е. процесс оплодотворения, у человека происходит в яйцеводах (маточных трубах), куда добирается только несколько тысяч сперматозоидов из всей массы. ■

После оплодотворения к концу первых суток начинается дробление зиготы (рис. 71). Зародыш в это время продвигается по яйцеводу в направлении к матке. Через 30 часов после оплодотворения зародыш состоит уже из двух клеток, через 40 часов — из четырёх. В результате многократных делений формируется плотный шар, состоящий из клеток двух типов: внутри располагаются более тёмные, медленно делящиеся клетки, снаружи — более светлые. Образование

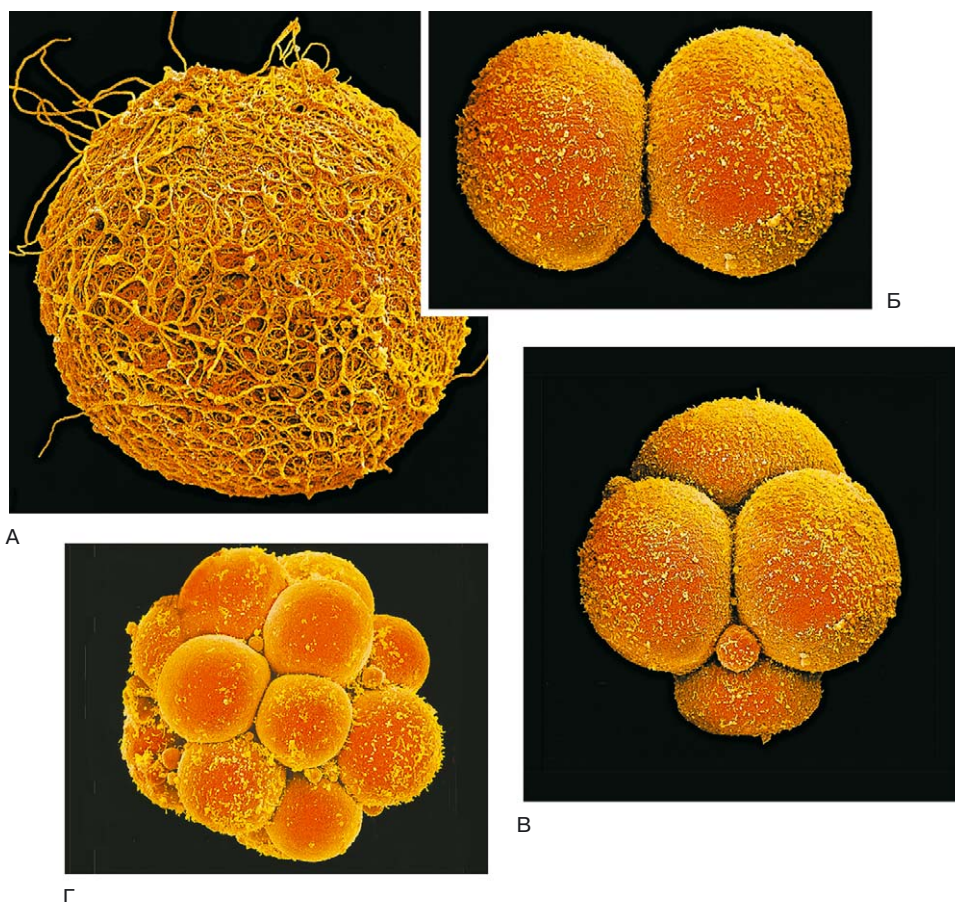


Рис. 71. Начальный этап эмбрионального развития человека: А — яйцеклетка, окружённая многочисленными сперматозоидами; Б, В, Г — последовательные стадии дробления зиготы

этих двух типов клеток — первый этап дифференцировки клеток в развивающемся зародыше. Из тёмных клеток впоследствии будет сформировано тело самого зародыша, из светлых — специальные органы, обеспечивающие связь зародыша с материнским организмом. Такими внезародышевыми органами являются аллантаис, желточный мешок, амнион и хорион.

На 4-е сутки зародыш человека превращается в бластулу, полый пузырёк, заполненный жидкостью. На 5—6-е сутки бластула, наконец, достигает матки и внедряется в её стенку. С этого момента зародыш начинает получать кислород и питательные вещества из крови матери.

Важным событием, которое происходит до имплантации, является включение генома зародыша. У человека, как и у других млекопитающих, активация генов эмбриона происходит на стадии 2—4 бластомеров. Если по какой-то причине активация генов нарушается или замедляется, то эмбрион не может нормально имплантироваться в стенку матки и погибает.

Существует также множество причин, из-за которых зародыш может не попасть в матку. Иногда он погибает на самых ранних стадиях дробления, и женщина даже не замечает своей беременности. Это может произойти в том случае, если при оплодотворении зигота получит неполноценный наследственный материал. Иногда зародыш, не доходя до матки, внедряется в стенку яйцевода и какое-то время даже растёт, потребляя питательные вещества этого органа и разрушая его (внематочная беременность).

Образование гастролы в эмбриональном развитии человека протекает несколько иначе, чем вариант, разобранный нами в предыдущем параграфе, но сущность — образование трёхслойного зародыша — остаётся неизменной. В ходе гастрюляции каждый зародышевый листок занимает своё место: снаружи эктодерма, внутри энтодерма и между ними мезодерма. Затем начинается процесс органогенеза, закладывается хорда, позднее — нервная трубка и в дальнейшем все остальные системы органов (рис. 72).

В онтогенезе человека существуют периоды, когда развивающийся организм наиболее подвержен действию различных вредных факторов (химических препаратов, различного рода излучений, стрессов и др.). Во время эмбрионального этапа развития такими критическими периодами являются момент оплодотворения, имплантация зародыша в стенку матки (7—8-е сутки развития), смыкание нервной трубки (4-я неделя развития), закладка основных органов и формирование плаценты (3—8-я недели), усиленный рост головного мозга и дифференцировка нервной ткани (15—22-я недели), дифференцировка полового аппарата (20—24-я недели) и момент рождения. В постэмбриональном развитии наиболее уязвимыми периода-

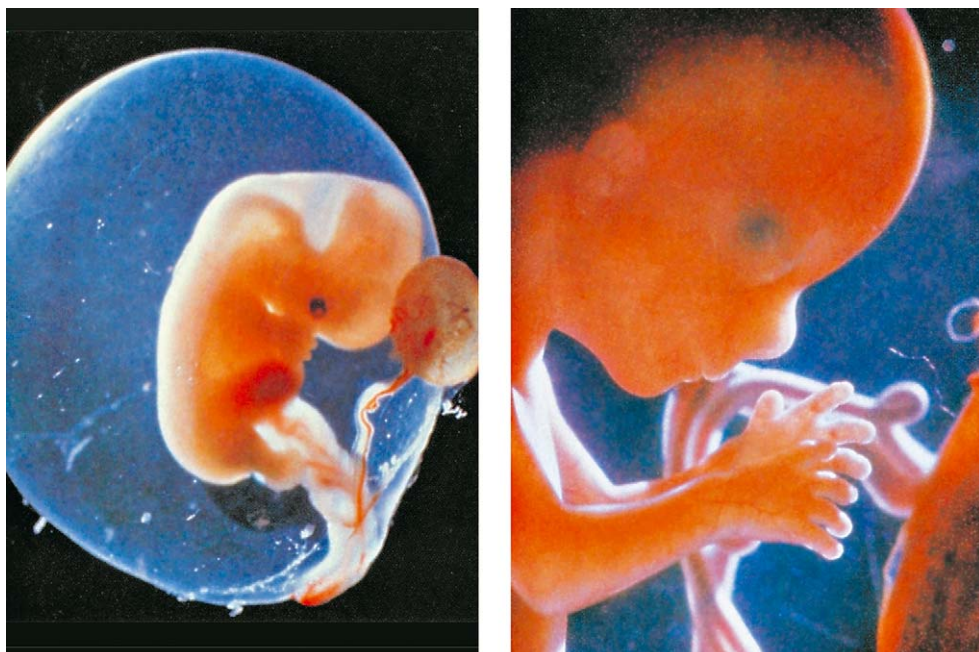


Рис. 72. Эмбрион человека

ми являются новорождённость (возраст до 1 года) и половое созревание (11—16 лет).

Иногда будущий ребёнок может погибнуть в результате самопроизвольного аборта (выкидыша). Если аборт произошёл ранее 20-й недели беременности, то ребёнка спасти очень трудно. Причинами самопроизвольного аборта могут быть сниженная работа щитовидной железы (гипотериоз), сахарный диабет, пороки развития матки, аутоиммунные и некоторые инфекционные заболевания, повышенное кровяное давление, применение антидепрессантов, курение.

Влияние никотина, алкоголя и наркотических веществ на развитие зародыша человека. На протяжении всего времени внутриутробного развития плод, напрямую связанный с организмом матери через уникальный орган — плаценту, находится в постоянной зависимости от состояния здоровья матери.

В последнее время ведётся много споров на тему, влияет ли курение на неродившегося ребёнка. Известно, что никотин, попадающий в кровь матери, легко проникает сквозь плаценту в кровеносную систему плода и вызывает сужение сосудов. Если поступление крови в плод ограничено, то снижается его снабжение кислородом и питательными веществами, что может вызвать задержку развития. У курящих женщин ребёнок при рождении весит в среднем на 300—

350 г меньше нормы. Существуют и другие проблемы, связанные с курением при беременности. У таких женщин чаще происходят преждевременные роды и выкидыши на поздних сроках беременности. На 30% выше вероятность ранней детской смертности и на 50% — вероятность развития пороков сердца у детей, чьи матери не смогли во время беременности отказаться от сигарет.

Столь же легко через плаценту проходит и алкоголь. Употребление спиртного при беременности может вызвать у ребёнка состояние, известное как *алкогольный синдром плода*. При этом синдроме наблюдается задержка умственного развития, микроцефалия (недоразвитие головного мозга), расстройства поведения (повышенная возбудимость, невозможность сосредоточиться), снижение скорости роста, слабость мышц (рис. 73, 74).

Особенно чувствителен плод к вредному воздействию наркотических веществ. Если женщина имеет зависимость от наркотических препаратов, то её ребёнок, как правило, в эмбриональный период развития приобретает такую же зависимость. После рождения у него возникает синдром отмены (ломка), потому что исчезает постоянное поступление наркотика, который до этого ребёнок получал из крови матери через плаценту. Так как героин, кокаин и другие наркотики в первую очередь поражают нервную систему, у таких детей ещё в период внутриутробного развития может возникнуть поражение головного мозга, что приведёт в дальнейшем к задержке умственного развития или нарушению поведения.



А



Б

Рис. 73. Алкогольный синдром плода: А — мозг здорового новорождённого (слева) и ребёнка с алкогольным синдромом (справа); Б — дети с разной степенью выраженности алкогольного синдрома



Рис. 74. Отклонения от нормы среди новорождённых

месяце беременности у 50% детей развиваются врождённые пороки: слепота, глухота, расстройства нервной системы и пороки сердца.

Постэмбриональное развитие. Существует немало классификаций периодов постэмбрионального развития человека, древнейшие

■ Показательным примером является трагедия, связанная с талидомидом. Этот препарат в начале 60-х гг. XX в. выписывали многим беременным, страдающим от постоянных приступов тошноты. Довольно быстро выяснилось, что это лекарство вызывало нарушения развития конечностей у плода: они либо отсутствовали, либо были недоразвиты. Лекарство было запрещено, но несколько тысяч детей уже родились. Часто у новорождённых, чьи матери принимали талидомид, кисти или стопы росли прямо из туловища. Степень недоразвития конечностей зависела от того, на какой стадии беременности мать принимала лекарство.

Лекарственные препараты, которые продаются в аптеке без рецептов, всегда тщательно проверяются на выявление вредных воздействий. Однако, если возможно, было бы желательно ограничить приём лекарств, особенно на ранних стадиях беременности и в критические для развития плода периоды, потому что многие лекарственные препараты очень легко проходят через плаценту. ■

Для развития плода представляют серьёзную опасность вирусные заболевания матери во время беременности. Наиболее опасны краснуха, гепатит В и ВИЧ-инфекция. В случае заражения краснухой на первом месяце беременности у 50% детей развиваются врождённые пороки: слепота, глухота, расстройства нервной системы и пороки сердца.

Существует немало классификаций периодов постэмбрионального развития человека, древнейшие из которых принадлежат ещё античному учёному. В наиболее общем виде постэмбриональное развитие человека подразделяют на три периода: дорепродуктивный, период зрелости (репродуктивный) и период старения (пострепродуктивный).

Важнейшей чертой человека, приобретённой им в процессе эволюции, является удлинение *дорепродуктивного периода*. По сравнению с остальными млекопитающими, включая человекообразных приматов, половозрелость у человека наступает наиболее поздно. Удлинение детства и замедление роста и развития расширяют возможности обучения и приобретения социальных навыков.

Рост, развитие и формирование организма — это основные процессы онтогенеза человека. Знание особенностей этих процессов и факторов, влияющих на них, определяет, насколько здоровыми будут будущие поколения людей. Развитие каждого из нас обусловлено взаимодействием генетических (наследственных) и средовых (внешних) факторов. Всем хорошо известно отрицательное влияние на развитие человека недостаточного питания, промышленного загрязнения среды, стресса и болезней. ■

■ Недостаток витамина D вызывает отставание в развитии и нарушение в формировании скелета.

Алкоголь, связываясь с поверхностью мембран нервных клеток, нарушает работу головного мозга, а при длительном употреблении вызывает цирроз печени.

Недостаток полноценных белков в пище приводит к замедлению роста детей и развитию у них психических отклонений.

Репродуктивный период — это наиболее длительный этап постэмбрионального развития человека, завершение которого говорит о наступлении *пострепродуктивного периода*, или *периода старения*. Процесс старения затрагивает все уровни организации живого. На молекулярном уровне нарушаются процессы репликации ДНК и синтеза белков. На клеточном уровне снижается обмен веществ, замедляются митотические деления клеток, постепенно гибнут и не восстанавливаются нервные клетки. На уровне целого организма ослабевают функции всех систем органов.

Существует множество гипотез о механизмах старения, большинство из которых связывают возрастные изменения с процессами, происходящими на генетическом уровне. Открытие недавно генов «клеточной смерти», включение которых вызывает неизбежное нарушение нормального функционирования клеток, подтверждает эти гипотезы.

Старение неизбежно приводит к смерти — общему для всех живых существ финалу индивидуального развития организмов. Смерть является необходимым условием для смены поколений, т. е. для продолжения существования и эволюции человечества в целом.

Вопросы для повторения и задания

1. Назовите особенности онтогенеза, характерные для человека. Какие преимущества дают эти особенности?
2. Как никотин, алкоголь и наркотические вещества влияют на развитие зародыша человека?
3. Какие факторы внешней среды оказывают влияние на развитие зародыша человека?

4. Назовите периоды постэмбрионального развития человека.
5. К каким последствиям в развитии человека может привести недостаток витамина D и неполноценное питание?

Подумайте! Выполните!

1. Обсудите в классе, какое значение в эволюции человека имело удлинение дорепродуктивного периода.
2. Для каких организмов понятия «клеточный цикл» и «онтогенез» совпадают?
3. Используя дополнительные источники информации, составьте подробную таблицу «Периоды постэмбрионального развития человека». Отрадите в ней временные границы и особенности протекания отдельных периодов.
4. Используя дополнительную литературу и ресурсы Интернета, выясните, что такое акселерация, какие в настоящее время существуют гипотезы о причинах акселерации. Обсудите в классе найденную вами информацию по этой теме.

24. Генетика — наука о закономерностях наследственности и изменчивости. Г. Мендель — основоположник генетики

Вспомните!

Что изучает генетика?

Почему основателем генетики считают Г. Менделя?

С какими объектами работал Г. Мендель?

Какой основной метод изучения наследственности он разработал?

Предмет и основные понятия генетики. На протяжении всей истории своего существования человечество всегда интересовал вопрос о причинах сходства детей и родителей. Почему подобное рождает подобное? «Как он похож на своего отца!» — восклицают родственники, придя на день рождения и глядя на выросшего юношу. «У него абсолютный музыкальный слух!» — с гордостью сообщает его мать, обладающая таким же качеством. В голубых глазах родителей светится гордость за подрастающее поколение, а виновник торжества, невинно моргая такими же голубыми глазами, незаметно съедает приготовленные для гостей конфеты.

Мы наследуем от своих родителей не только цвет глаз и волос, форму носа и группу крови. Мы наследуем черты темперамента и особенности движений, склонность к изучению языков и способность к математике. Мы рождаемся на свет, имея свой уникальный наследственный материал, ту программу, на основе которой под влия-

янием факторов внешней среды мы станем такими, какие мы есть — неповторимые и в то же время похожие на предыдущие поколения.

Наследственность и изменчивость — два свойства живых организмов, неразрывно связанные друг с другом как две стороны одной медали. Закономерности наследственности и изменчивости изучает одна из самых важных областей биологии — генетика.

Наследственность — это способность живых организмов передавать свои признаки, свойства и особенности развития следующему поколению. Наследственность обеспечивает материальную и функциональную преемственность между поколениями, сохраняя определённый порядок в природе. Некоторые виды могут оставаться относительно неизменными на протяжении сотен миллионов лет. Например, многие современные акулы мало чем отличаются от акул, живших в раннем меловом периоде более 130 млн лет тому назад.

Клетки организмов не содержат готовых признаков взрослой особи, наследование признаков происходит на молекулярном уровне. Основными структурами, которые обеспечивают материальную основу наследственности, являются хромосомы. Строго говоря, мы наследуем не свойства, а генетическую информацию. Элементарной структурной единицей наследственности является *ген* — участок ДНК, содержащий информацию о структуре одного белка, тРНК или рРНК. *Генотип* — это сумма всех генов организма, т. е. совокупность всех наследственных задатков.

Изменчивость — свойство, противоположное наследственности. Оно заключается в способности живых организмов приобретать в процессе индивидуального развития отличия от других особей своего и других видов.

Совокупность свойств и признаков организма, которые являются результатом взаимодействия генотипа особи и окружающей среды, называют *фенотипом*. Мы рождаемся с определённым цветом кожи, но стоит нам летом съездить в южные края, как наша кожа приобретает смуглый оттенок. С возрастом светлеет радужка глаз и седеют волосы. Перенесённые в детстве болезни могут нарушить рост или развитие каких-то органов. Реализация наследственной информации находится под постоянным давлением факторов окружающей среды. Однако следует отметить, что существуют признаки, проявление которых не зависит от влияния внешней среды. Где бы мы ни жили: на севере или на юге, как бы нас ни кормили в детстве и какими бы болезнями мы ни болели, группа крови, с которой мы родились, останется неизменной на протяжении всей жизни.

У истоков генетики. Основные закономерности наследования признаков впервые были описаны во второй половине XIX в. австрийским учёным Грегором Менделем (1822—1884). Мендель не был первым учёным, который пытался ответить на вопрос: как передаются

из поколения в поколение свойства и признаки? Многие исследователи до него скрещивали разнообразные организмы, стараясь увидеть какую-то систему в получаемых результатах. Стремясь добиться успеха как можно быстрее, исследователи скрещивали разные виды, получая при этом бесплодное потомство, брали для изучения сложные, трудно определяемые признаки, не вели точных математических подсчётов.

Объясняя, почему именно Мендель смог обнаружить закономерности в передаче признаков от поколения к поколению, английский генетик Шарлотта Ауэрбах сказала: «Успех работы Менделя по сравнению с исследованиями его предшественников объясняется тем, что он обладал двумя существенными качествами, необходимыми для учёного: способностью задавать природе нужный вопрос и способностью правильно истолковывать ответ природы».

Рассмотрим основные особенности работы Менделя, которые позволили ему добиться успеха:

- в качестве экспериментальных растений Мендель использовал разные сорта посевного гороха, поэтому потомство, получаемое в таких внутривидовых скрещиваниях, было плодовито;

- горох — самоопыляющееся растение, т. е. цветок защищён от случайного попадания посторонней пыльцы; при постановке нужного скрещивания Мендель удалял тычинки, чтобы исключить возможность самоопыления, а затем кисточкой переносил на пестик пыльцу другого родительского растения;

- горох неприхотлив и имеет высокую плодovitость;

- в качестве экспериментальных признаков Мендель выбрал простые качественные альтернативные признаки по типу «или-или» (цветки пурпурные или белые, семена жёлтые или зелёные); сейчас трудно сказать, что здесь сыграло основную роль — удача или гениальное предвидение, но оказалось, что каждая пара выбранных Менделем признаков контролировалась одним геном, что значительно упрощало трактовку результатов скрещивания;

- при обработке получаемых данных Мендель вёл строгий математический учёт фенотипов всех растений и семян.

В течение восьми лет Мендель экспериментировал с 22 сортами гороха, которые отличались друг от друга по семи признакам. За это время он изучил в общей сложности более 10 тыс. растений. Скрещивая различные организмы и исследуя получаемое потомство, Мендель, по сути, разработал основной и специфический метод генетики. **Гибридологический метод** — это система скрещиваний в ряду поколений, дающая возможность при половом размножении анализировать наследование отдельных свойств и признаков организмов, а также обнаруживать возникновение наследственных изменений.

Результаты своих экспериментов Г. Мендель представил в 1865 г. на заседании Общества естествоиспытателей г. Брюнна (современный город Брно) и изложил в статье «Опыты над растительными гибридами». Но современники Менделя работы не оценили, и за оставшиеся 35 лет XIX в. его статью процитировали всего пять раз.

Работа Менделя значительно опередила уровень развития науки того времени. Лишь когда в 1900 г. сразу в трёх лабораториях открыли заново закономерности наследования, учёный мир вспомнил, что 35 лет тому назад они уже были сформулированы. 1900 год считается годом рождения генетики, но закономерности, установленные в своё время Грегором Менделем, справедливо носят его имя.

Вопросы для повторения и задания

1. Дайте определения понятий «наследственность» и «изменчивость».
2. Кто впервые открыл закономерности наследования признаков?
3. На каких растениях проводил опыты Г. Мендель? Докажите, что выбранные учёным растения были оптимальным объектом в данных экспериментах.
4. Благодаря каким особенностям организации работы Г. Менделю удалось открыть законы наследования признаков?

Подумайте! Выполните!

1. До Г. Менделя многие исследователи предпринимали попытки установить закономерности наследования признаков от родителей к детям. Однако все они заканчивались неудачно. Как вы можете это объяснить?
2. Опишите фенотипы известных всем современников (актёров театра и кино, эстрадных артистов, политических деятелей и др.). Предложите одноклассникам по описанию определить человека.
3. Название науки фенологии имеет тот же корень, что и термин «фенотип». Что изучает фенология? Почему эти термины схожи?

25. Закономерности наследования. Моногибридное скрещивание

Вспомните!

Что такое ген?

Какой набор хромосом содержат половые клетки?

Закон единообразия гибридов первого поколения. Мендель начал работу с постановки эксперимента по наиболее простому, *моногибридному скрещиванию*, в котором родительские особи отличались

друг от друга по одному изучаемому признаку. Поскольку горох — самоопыляющееся растение, в пределах одного сорта не существует изменчивости по конкретному признаку: на растениях, выросших из жёлтых семян, всегда созревают жёлтые семена, а на растениях, выросших из зелёных, — зелёные. Учитывая это свойство, Мендель скрестил растения гороха, отличающиеся по цвету семян (рис. 75). Гибридные семена первого поколения все оказались жёлтого цвета. Аналогичные результаты Мендель получил, изучая наследование остальных пар признаков. Следовательно, у гибридов первого поколения из каждой пары альтернативных признаков развивается только один. Второй признак как бы исчезает, не проявляется. Явление преобладания у гибрида признака одного из родителей Мендель назвал *доминированием*. Признак, проявляющийся у гибрида первого поколения и подавляющий развитие другого признака, был назван *доминантным*, а противоположный признак, не проявляющийся у гибридов, т. е. подавляемый, — *рецессивным*.

В результате такого скрещивания была установлена важнейшая закономерность наследования, получившая название *закона единообразия гибридов первого поколения*, или *закона доминирования* (первый закон Менделя): *при скрещивании двух гомозиготных организмов, обладающих альтернативными признаками, все гибриды первого поколения будут иметь признак одного из родителей, т. е. они будут единообразны по фенотипу*. Впоследствии при изучении наследования разнообразных признаков у животных, растений, грибов было установлено, что явление доминирования широко распространено и является общей закономерностью для наследования многих признаков у большинства организмов.

Закон расщепления. Из гибридных семян гороха Мендель вырастил растения, которые в результате самоопыления произвели семена второго поколения (см. рис. 75). Среди них оказались не только жёлтые, но и зелёные семена, т. е. произошло *расщепление* потомства на две группы, одна из которых обладала доминантным признаком, а вторая — рецессивным. Причём это расщепление не было случайным, а подчинялось строгим количественным закономерностям: $\frac{3}{4}$ семян оказались жёлтыми и $\frac{1}{4}$ — зелёными. Таким образом, Мендель установил, что *во втором поколении гибридов появляются особи с доминантными и рецессивными признаками, причём их соотношение 3 : 1*. Эта закономерность была названа *законом расщепления*, а впоследствии — вторым законом Менделя (рис. 76).

Последующие исследования позволили установить, что законы Менделя имеют всеобщий характер для диплоидных организмов, размножающихся половым путём.

Аллельные гены. Мендель не ограничился изучением второго поколения гибридов. Чтобы выяснить, как будут наследоваться при-

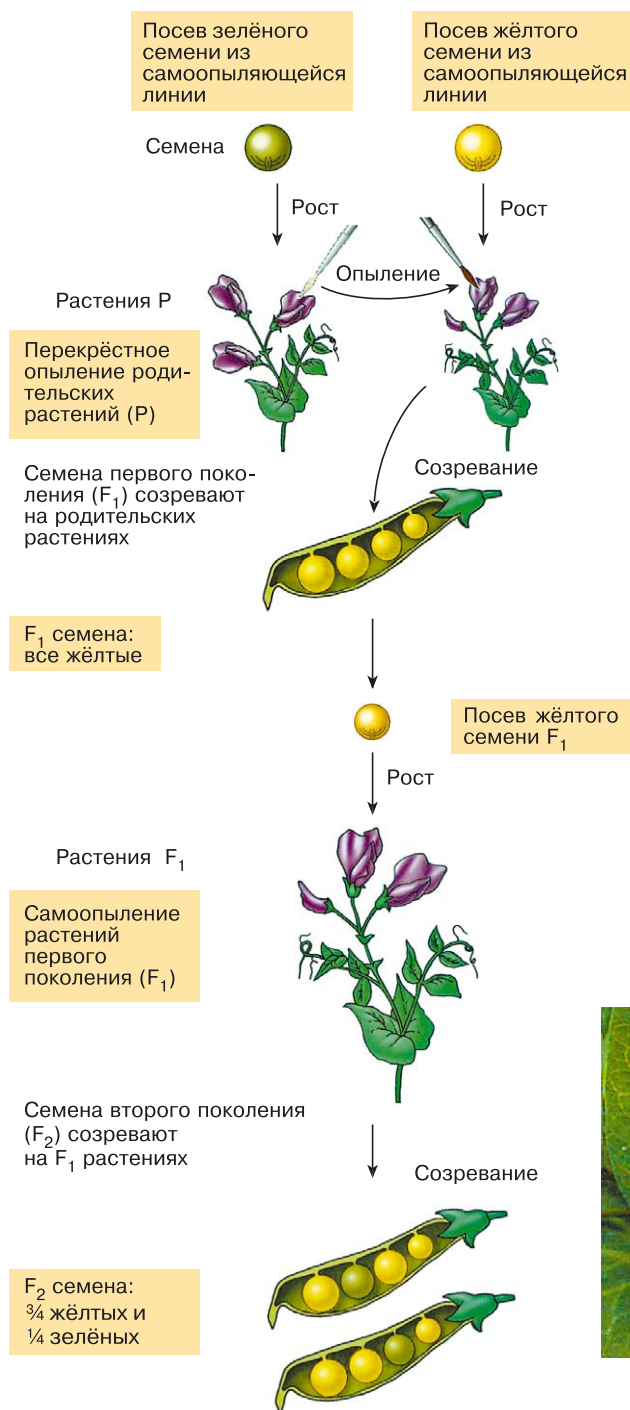


Рис. 75. Моногибридное скрещивание

Доминантные	×	Рецессивные	Доми- нантные	Рецес- сивные	Общее количество	Соотно- шение
 Гладкие семена	×	Морщинистые семена 	5474	1850	7324	2,96 : 1
 Жёлтые семена	×	Зелёные семена 	6022	2001	8023	3,01 : 1
 Пурпурные цветки	×	Белые цветки 	705	224	929	3,15 : 1
 Гладкие плоды	×	Плоды с перетяж- ками 	882	299	1181	2,95 : 1
 Зелёные плоды	×	Жёлтые плоды 	428	152	580	2,82 : 1
 Пазушные цветки	×	Верхушечные цветки 	651	207	858	3,14 : 1
 Высокий стебель (1 м)	×	Низкий стебель (0,3 м) 	787	277	1064	2,84 : 1

Рис. 76. Моногибридное скрещивание. Результаты работы Г. Менделя

знаки в третьем поколении, он вырастил гибриды второго поколения и проанализировал потомство, которое получилось в результате самоопыления. Оказалось, что все растения, выросшие из зелёных семян, производят только зелёные семена, $\frac{1}{3}$ растений, развивающихся из жёлтых семян, образуют только жёлтые, а оставшиеся $\frac{2}{3}$ растений, выросших из жёлтых семян, дают жёлтые и зелёные семена в соотношении 3 : 1.

Чтобы объяснить закономерности наследования признаков у гороха, Мендель предположил, что развитие каждого признака определяется неким наследственным фактором, который впоследствии был назван *геном*. Мендель ввёл буквенные обозначения, которыми мы пользуемся и в настоящее время. Доминантные признаки и гены обычно обозначают прописными латинскими буквами (*A*, *B*, *C*), а рецессивные — строчными (*a*, *b*, *c*). В данном опыте жёлтая окраска — доминантный признак (*A*), а зелёная — рецессивный (*a*). Пару генов (*A* и *a*), которые определяют альтернативные признаки, называют аллельными генами, а каждый член пары — аллелем. **Алле-ли** (от греч. *allelon* — взаимно) — это различные состояния гена, определяющие различные формы одного и того же признака. В данном примере ген, отвечающий за цвет семени, может находиться в двух аллельных вариантах: жёлтая окраска (*A*) или зелёная окраска (*a*).

В результате анализа третьего поколения Мендель обнаружил, что организмы, одинаковые по внешнему виду, могут различаться по наследственным задаткам. Организмы, не дающие расщепления в следующем поколении, были названы *гомозиготными* (от греч. *gomo* — равный, *zygota* — оплодотворённая яйцеклетка), а организмы, в потомстве которых обнаруживается расщепление, называли *гетерозиготными* (от греч. *getero* — разный). Гомозиготные организмы имеют одинаковые аллели одного гена — оба доминантных (АА) или оба рецессивных (аа).

Следует отметить, что, разбирая сейчас результаты скрещиваний, полученные Менделем, мы находимся в гораздо более выигрышном положении, чем был сам учёный в середине XIX в. В то время никто не знал о мейозе, локализации наследственной информации в хромосомах, гаплоидности и диплоидности организмов. Тем большую ценность имеют выводы, сделанные Менделем.

Закон чистоты гамет. Мендель предположил, что каждая клетка организма содержит по два наследственных фактора, причём при образовании гибридов эти факторы не смешиваются, а сохраняются в неизменном виде. Исчезновение одного из родительских признаков в первом поколении гибридов и появление его вновь во втором поколении подтверждало предположение Менделя, что наследственные факторы — это некие дискретные¹ единицы, которые не «растворяются» и не «смешиваются», а сохраняются в неизменном виде из поколения в поколение.

При половом размножении связь между поколениями осуществляется через половые клетки — гаметы. Поэтому Мендель логично предположил, что каждая гамета должна содержать только один фактор из пары, чтобы при их слиянии восстанавливался двойной набор. Если при оплодотворении встретятся две гаметы, несущие рецессивный фактор, сформируется организм с рецессивным признаком (аа), а если хотя бы одна из двух гамет будет содержать доминантный фактор, образуется особь с доминантным признаком (АА, Аа). Основываясь на результатах своих экспериментов, Мендель сделал вывод, что наследственные факторы (т. е. в современном понимании — гены) в гибриде не смешиваются, не сливаются и передаются гаметам в «чистом» виде. В этом и состоит смысл **закона чистоты гамет**, который в настоящее время можно сформулировать следующим образом: *при образовании половых клеток в каждую гамету попадает только один аллель из каждой пары.*

Для того чтобы понять, почему и как это происходит, надо вспомнить основные явления, происходящие в мейозе. В каждой клетке

¹ Дискретный — раздельный, состоящий из отдельных частей.

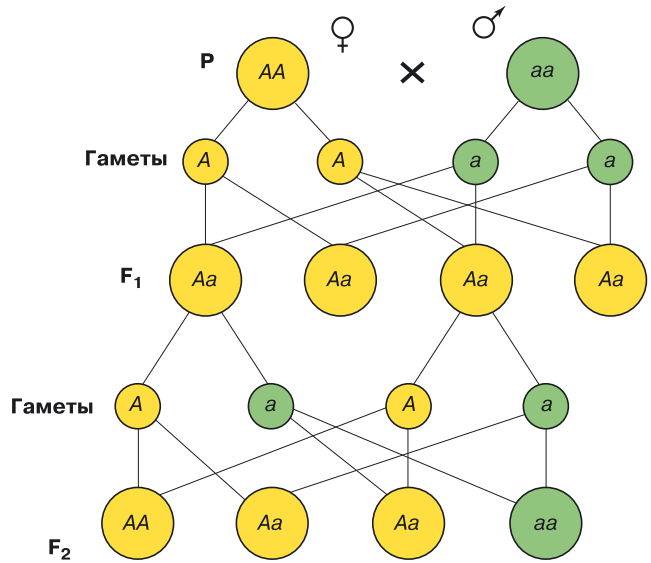


Рис. 77. Цитологические основы моногибридного скрещивания

тела содержится диплоидный ($2n$) набор хромосом. В результате двух делений мейоза образуются клетки, несущие гаплоидный набор хромосом ($1n$), т. е. содержащие по одной хромосоме из каждой пары гомологичных хромосом. В дальнейшем слияние гаплоидных гамет вновь приводит к образованию диплоидного организма. В свете современных знаний представления Менделя о парности наследственных факторов, чистоте гамет и закономерностях расщепления легко объясняются присутствием у диплоидных организмов гомологичных хромосом, их расхождением в мейозе и восстановлением двойного набора при оплодотворении.

Цитологические основы моногибридного скрещивания. Давайте схематично представим результаты скрещиваний, осуществлённые Менделем, используя современные знания (рис. 77).

P (от лат. *parenta* — родители) обозначает родительское поколение, F₁ (от лат. *fili* — дети) — гибриды первого поколения, F₂ — гибриды второго поколения, символ ♀ — женскую особь, символ ♂ — мужскую, знак × — скрещивание, A — доминантный ген, отвечающий за формирование жёлтой окраски семян, a — рецессивный ген, отвечающий за зелёную окраску.

Исходные родительские растения в рассматриваемом опыте были гомозиготными, т. е. содержали в обеих гомологичных хромосомах одинаковые аллели гена. Следовательно, первое скрещивание можно записать так: P (♀ AA × ♂ aa). Оба родительских растения могли образовывать гаметы только одного типа: женское растение —

гаметы, содержащие ген A , мужское — a . Поэтому при их слиянии все особи первого поколения имели одинаковый гетерозиготный генотип (Aa) и одинаковое проявление признака (жёлтые семена).

Гибриды первого поколения образовывали в равном соотношении гаметы двух типов, несущие гены A и a . При самоопылении в результате случайной встречи гамет в F_2 возникали следующие зиготы: AA , Aa , aA , aa , что можно записать так: $AA + 2Aa + aa$. Гетерозиготные семена окрашены в жёлтый цвет, поэтому по фенотипу расщепление во втором поколении соответствует $3 : 1$. Понятно, что та $\frac{1}{3}$ растений, которые выросли из жёлтых семян, имеющих гены AA , при самоопылении сформируют только жёлтые семена. Остальные $\frac{2}{3}$ растений (Aa) в следующем поколении вновь образуют расщепление признаков.

Вопросы для повторения и задания

1. Какое скрещивание называют моногибридным?
2. Что такое доминирование? Какой признак называют рецессивным?
3. Охарактеризуйте понятия «гомозиготный» и «гетерозиготный» организм.
4. Сформулируйте закон расщепления. Почему он так называется?
5. Что такое чистота гамет? На каком явлении основан закон чистоты гамет?
6. У человека длинные ресницы — доминантный признак. Женщина с длинными ресницами, у отца которой были короткие ресницы, вышла замуж за мужчину с короткими ресницами. Какова вероятность рождения у них ребёнка с длинными ресницами? Какие генотипы могут быть у детей этой супружеской пары?
7. У кареглазых родителей родился голубоглазый ребёнок. Молодые родители, плохо изучавшие биологию в школе, пребывают в шоке. Объясните им ситуацию, учитывая, что карий цвет глаз — доминантный признак, а голубой — рецессивный.

Подумайте! Выполните!

1. Составьте задачу на моногибридное скрещивание и предложите её решить своему однокласснику. Проверьте правильность его решения.
2. Применимы ли законы Менделя к наследованию признаков у бактерий? Докажите свою точку зрения.
3. Сформулируйте определения гетерозиготного и гомозиготного организмов, используя в качестве критерия сравнения число типов гамет, которые они способны формировать.

26. Закономерности наследования. Дигибридное скрещивание

Вспомните!

Какое скрещивание называют моногибридным?

Что такое гомозиготный организм; гетерозиготный организм?

Что расходуется к разным полюсам в анафазе первого мейотического деления?

Закон независимого наследования. Изучение наследования отдельных признаков (цвет семени, форма семени, цвет венчика и др.) позволило Г. Менделю установить ряд важных закономерностей. Но в природе организмы редко отличаются друг от друга только по одному признаку, поэтому Мендель решил исследовать, как ведут себя в ряду поколений несколько признаков одновременно.

Скрещивание, при котором прослеживают наследование двух пар альтернативных признаков, называют *дигибридным*, трёх пар — тригибридным и т. д. В общем случае скрещивание особей, отличающихся по многим признакам, называют полигибридным.

Для постановки эксперимента по дигибриднему скрещиванию Мендель взял два сорта гороха, один из которых имел жёлтые и гладкие семена, а другой — зелёные и морщинистые. В первом поколении все гибридные семена были жёлтыми и гладкими, т. е. закономерность единообразия сохранилась и в этом типе скрещивания. Следовательно, жёлтая окраска (A) и гладкая форма (B) — доминантные признаки, а зелёная окраска (a) и морщинистая форма (b) — рецессивные. При самоопылении гибридных растений во втором поколении произошло расщепление и образовалось четыре фенотипических класса: 315 жёлтых гладких семян, 101 жёлтое морщинистое, 108 зелёных гладких и 32 зелёных морщинистых. Для того чтобы было легче понять, что происходит при дигибридном скрещивании, воспользуемся таблицей (рис. 78). Впервые такой способ определения соотношения фенотипических классов в сложных скрещиваниях предложил английский генетик Реджиналд Пеннет, поэтому такую таблицу называют *решёткой Пеннета*.

Исходные родительские растения были гомозиготны по обоим генам и могли образовать гаметы только одного типа: выросшие из жёлтых гладких горошин ($AABB$) — только AB , а выросшие из зелёных морщинистых ($aabb$) — ab . Следовательно, всё первое поколение было единообразно и по генотипу ($AaBb$), и по фенотипу (жёлтые гладкие горошины), что соответствует данным, полученным Менделем. Если гены, отвечающие за формирование исследуемых признаков, расположены в разных хромосомах, то при образовании гамет

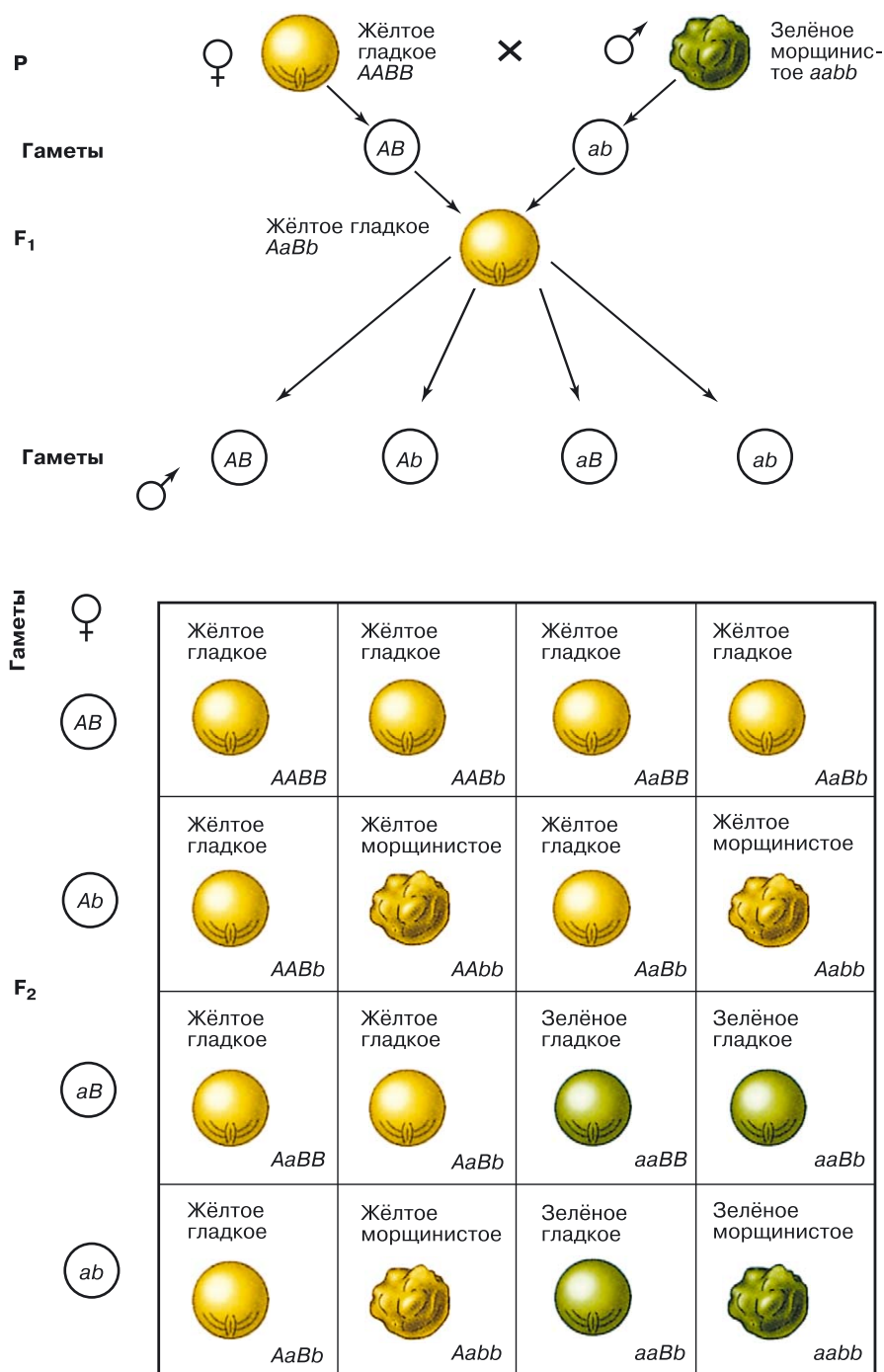


Рис. 78. Наследование признаков при дигибридном скрещивании

у гибридов первого поколения они будут комбинироваться независимо друг от друга.

Вспомните, что в первом делении мейоза при образовании половых клеток гомологичные хромосомы каждой пары расходятся к разным полюсам клетки независимо от других пар гомологичных хромосом.

Допустим, хромосома с геном A отошла к одному полюсу, к тому же полюсу с равной вероятностью может отойти и хромосома с геном B , и хромосома с геном b . Следовательно, ген A может оказаться в одной гамете и с геном B , и с геном b . Оба события равновероятны. Поэтому у гибридов первого поколения ($AaBb$) образуется четыре типа гамет в равных количествах: AB , Ab , aB , ab .

В дальнейшем при оплодотворении любая гамета женского организма имеет равные шансы быть оплодотворённой любой мужской гаметой. Генотипы и фенотипы второго поколения представлены в таблице. Всего во втором поколении (в F_2) образуется 9 разных генотипов, которые проявляются в виде четырёх фенотипических групп (жёлтые гладкие, жёлтые морщинистые, зелёные гладкие и зелёные морщинистые), причём соотношение этих фенотипов соответствует отношению $9 : 3 : 3 : 1$. Количество фенотипических классов меньше, чем число генотипов, потому что обладатели разных генотипов могут иметь одно и то же внешнее фенотипическое проявление признаков. Так, жёлтые гладкие семена представлены четырьмя разными генотипами ($AABB$, $AaBB$, $AABb$, $AaBb$), жёлтые морщинистые — двумя генотипами ($AAbb$, $Aabb$), зелёные гладкие — тоже двумя ($aaBB$, $aaBb$), а зелёные морщинистые — только одним ($aabb$). Если мы подсчитаем расщепление в F_2 по каждой паре признаков отдельно, то легко убедимся, что в обоих случаях (жёлтые — зелёные и гладкие — морщинистые) оно равно $12 : 4$, т. е. $3 : 1$, как и при моногибридном скрещивании. Следовательно, каждая пара альтернативных признаков наследуется независимо. Значит, дигибридное скрещивание представляет собой два независимо идущих моногибридных скрещивания, результаты которых как бы накладываются друг на друга.

Следует подчеркнуть, что такое независимое распределение признаков в потомстве при дигибридном скрещивании возможно лишь в том случае, когда гены, определяющие развитие данных признаков, расположены в разных нехомологичных хромосомах.

Полученные результаты дигибридных скрещиваний позволили Менделю сформулировать **закон независимого наследования** (третий закон Менделя): *при скрещивании двух гомозиготных особей, отличающихся друг от друга по двум и более парам альтернативных признаков, гены и соответствующие им признаки переда-*

ются потомству независимо друг от друга и комбинируются во всех возможных сочетаниях.

Анализирующее скрещивание. Мы с вами уже не раз убеждались, что особи, имеющие одинаковые проявления признаков (одинаковый фенотип), могут обладать разными генотипами. При полном доминировании одного аллеля над другим гетерозиготные особи (Aa) внешне неотличимы от гомозиготных по доминантному аллелю (AA). Часто возникает необходимость определить генотип конкретной особи, имеющей доминантный фенотип. Для этого проводят так называемое анализирующее скрещивание (рис. 79).

Анализирующее скрещивание — это такой тип скрещивания, при котором исследуемую особь с доминантным фенотипом скрещивают с организмом, гомозиготным по рецессивному аллелю (анализатором). Если испытуемая особь гомозиготна (AA), то потомство от такого скрещивания будет единообразно и расщепления не произойдёт. Совершенно иной результат получится при скрещивании в том случае, если исследуемый организм гетерозиготен (Aa). В потомстве произойдёт расщепление, и образуется два фенотипических класса, причём их соотношение будет строго 1 : 1. Полученный результат чётко доказывает формирование у одной из родительских особей двух типов гамет, т. е. её гетерозиготность.

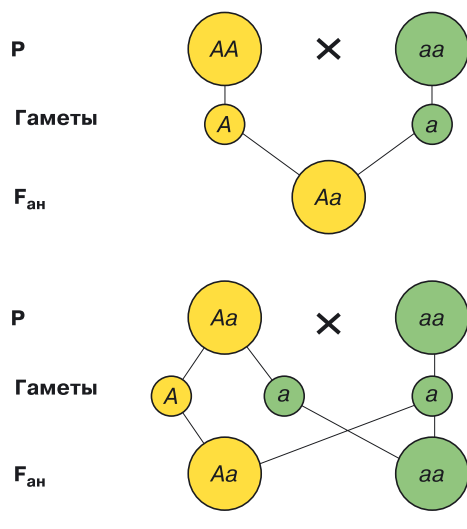


Рис. 79. Анализирующее скрещивание по одной паре признаков

Вопросы для повторения и задания

1. Какое скрещивание называют дигибридным?
2. Сформулируйте закон независимого наследования. Для каких аллельных пар справедлив этот закон?
3. Что такое анализирующее скрещивание?
4. При каких условиях в дигибридном скрещивании наблюдается независимое распределение признаков в потомстве?
5. Подумайте, какое соотношение фенотипических классов следует ожидать в дигибридном анализирующем скрещивании, если признаки наследуются независимо.

Подумайте! Выполните!

1. Составьте и решите задачу на дигибридное скрещивание.
2. Как вы можете объяснить то, что реальное расщепление по фенотипу тем ближе к теоретически ожидаемому, чем большее число потомков получено при скрещивании?
3. Как изменится расщепление по фенотипу во втором поколении (F₂), если при дигибридном скрещивании $AAbb \times aaBB$ гамета ab окажется нежизнеспособной?

Узнайте больше

Условия выполнения законов Г. Менделя. Законы Менделя выполняются в том виде, как они рассмотрены выше, далеко не всегда. Для того чтобы расщепления соответствовали теоретически ожидаемым, необходимо выполнение определённых условий:

- образование гамет всех возможных типов в равных соотношениях, т. е. с равной вероятностью;
- одинаковая жизнеспособность всех типов гамет;
- равная вероятность участия гамет всех типов в процессе оплодотворения и одинаковая вероятность образования всех типов зигот;
- одинаковая жизнеспособность всех типов зигот;
- степень выраженности признака должна быть одинакова у всех особей с одинаковым генотипом.

Нарушение одного или нескольких из этих условий приводит к отклонению от обычного расщепления. Наиболее ярко это проявляется в случае моногибридного скрещивания. Иногда во втором поколении вместо ожидаемого расщепления по фенотипу 3 : 1 наблюдается необычное соотношение классов — 2 : 1. Это происходит в результате гибели зигот с генотипом AA . Вследствие их отсутствия и происходит нарушение расщепления.

Например, у мышей известен ген, определяющий окраску шерсти. При скрещивании между собой чёрных мышей всегда получается чёрное потомство. При скрещивании между собой жёлтых мышей всегда происходит расщепление: $\frac{1}{3}$ потомства — чёрные, $\frac{2}{3}$ — жёлтые. При скрещивании чёрных и жёлтых мышей рождаются чёрные и жёлтые мыши в равном соотношении.

Из данных результатов следует, что жёлтые мыши гетерозиготны (Aa), а чёрные гомозиготны по рецессивному аллелю (aa). Особи генотипа AA , которые должны появляться при скрещивании гетерозигот, нежизнеспособны и погибают на ранних стадиях развития, что подтверждает эмбриологический анализ. Получается, что аллель A влияет не только на цвет шерсти, но и на жизнеспособность. В отношении первого признака он доминантен, так как проявляется у гетерозигот, а в отношении второго — рецессивен, так как гибель эмбрионов происходит только при наличии у них в генотипе двух аллелей (AA). Именно поэтому такие аллели называют доминантными аллелями с рецессивным летальным действием. Этот пример иллюстрирует, что нарушение даже одного из ус-

ловий, в данном случае — неодинаковая жизнеспособность всех типов зигот, приводит к отклонениям от теоретически ожидаемых расщеплений.

Взаимодействие аллельных генов. Мы рассмотрели законы Менделя на примерах, в которых доминантный аллель полностью подавлял проявление рецессивного аллеля. Однако так бывает не всегда. Рассмотрим основные типы взаимодействия аллельных генов (рис. 80).

Полное доминирование. Полное доминирование — участие только одного аллеля в определении признака у гетерозиготной особи. Полное доминирование проявляется в случае полного подавления действия рецессивного аллеля доминантным. В этом случае у всех гетерозиготных особей — гибридов первого поколения — фенотип совпадает с фенотипом одной из родительских особей. При полном доминировании фенотипы гетерозиготного организма (Aa) и гомозиготного по доминантному аллелю (AA) одинаковы.

Неполное доминирование. При неполном доминировании доминантный аллель не полностью подавляет рецессивный, поэтому у гибридов первого поколения — у гетерозиготных организмов (Aa) — наблюдается промежуточное состояние признака, так называемый промежуточный фенотип. Впервые подобное явление описал Г. Мендель. В одном из скрещиваний, которые он проводил, доминантный признак не полностью исключал проявление рецессивного признака. При скрещивании крупнолистного сорта гороха с мелколистным в первом поколении все листья имели среднюю величину. В дальнейшем выяснилось, что подобное неполное доминирование одного аллеля над другим и, как следствие, формирование промежуточного фенотипа у гибридов первого поколения встречается у разных организмов. Например, у человека неполное доминирование проявляется при наследовании структуры волос. Аллель, определяющий формирование курчавых волос, не полностью доминирует над аллелем прямых волос. В результате у гетерозигот наблюдается промежуточное проявление признака — волнистые волосы. При неполном доминировании во втором поколении расщепление по генотипу и фенотипу совпадает ($1AA : 2Aa : 1aa$).

Кодоминирование. Кодоминирование — проявление у гетерозигот обоих аллелей одного гена. Примером кодоминирования является наследование IV группы крови у человека.

Группы крови по системе АВ0 детерминируются аутосомным геном I . Существует три основных аллеля этого гена, два из которых доминантные (I^A и I^B), а один рецессивный (I^0). Каждый доминантный аллель контролирует синтез соответствующего антигена в эритроцитах — агглютиногена А (I^A) или В (I^B). Группа крови определяется наличием или отсутствием того или иного агглютиногена. У людей с генотипами $I^A I^A$ или $I^A I^0$ эритроциты имеют только поверхностный агглютиноген А (группа крови А, или II). У людей с генотипами $I^B I^B$ или $I^B I^0$ эритроциты имеют только поверхностный агглютиноген В (группа крови В, или III). При генотипе $I^0 I^0$ эритроциты лишены обоих антигенов (группа крови 0, или I). У гетерозигот с генотипом $I^A I^B$ имеет место кодоминирование — эритроциты несут оба антигена — А и В (группа крови АВ, или IV).

Наследование групп крови АВ0 иллюстрирует ещё одно генетическое явление — множественный аллелизм. Далеко не всегда ген может находиться толь-

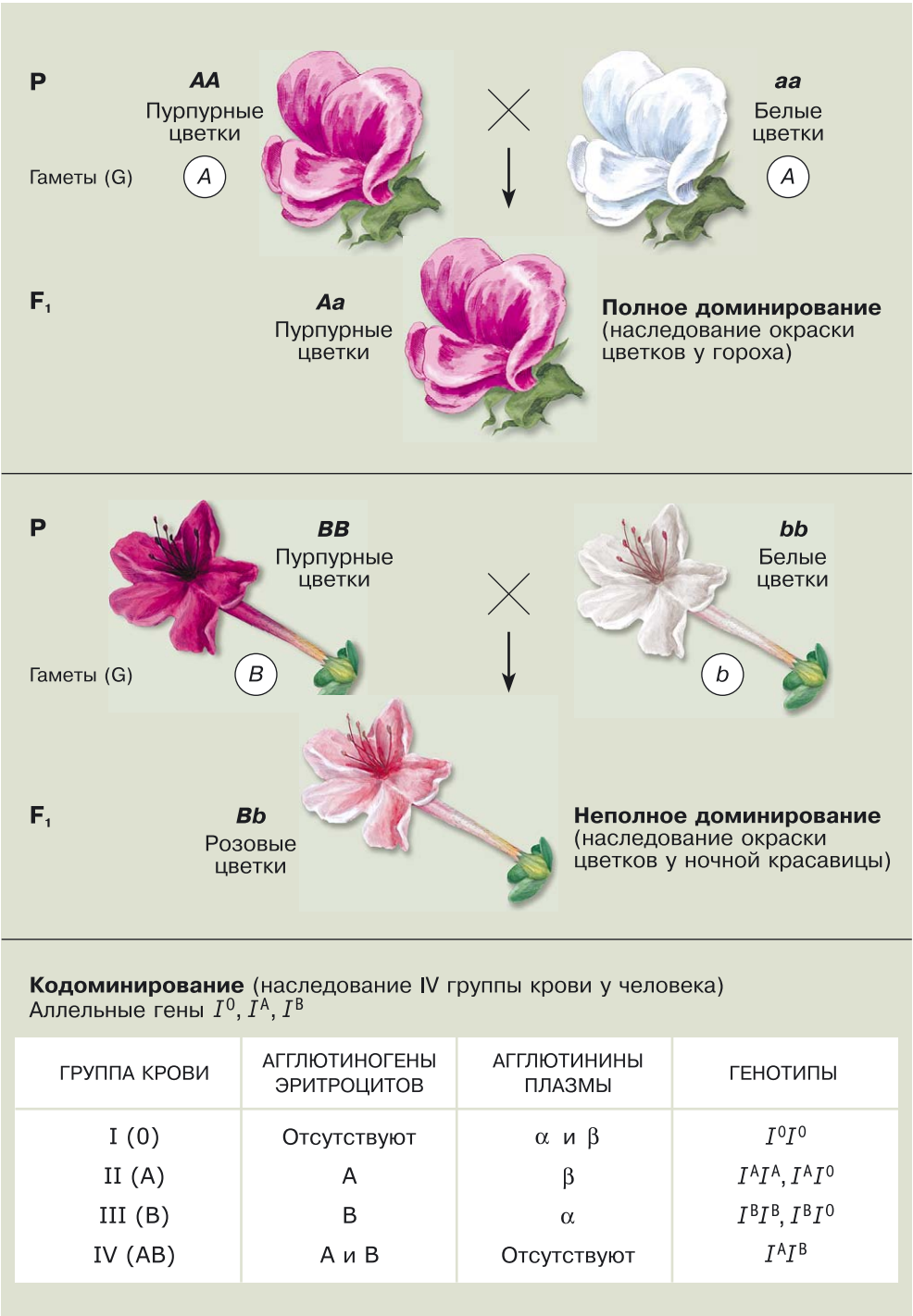


Рис. 80. Взаимодействие аллельных генов

ко в двух альтернативных состояниях. Довольно часто в результате мутаций возникают не два, а три и более состояний какого-либо гена. Такое явление называют множественным аллелизмом. Так, в человеческой популяции присутствуют три аллеля аутосомного гена *I*, определяющего группу крови. Однако у каждого человека, как у диплоидного организма, в генотипе будет только два аллеля.

Сверхдоминирование. При *сверхдоминировании* наблюдается более сильное проявление признака у гетерозигот (Aa), чем у гомозигот по доминантному аллелю (AA). В качестве примера можно привести эффект сверхдоминирования, наблюдаемый у плодовой мушки-дрозофилы по такому признаку, как плодовитость. Экспериментально показано, что у гетерозигот по отдельным мутациям наблюдаются гораздо более высокие показатели плодовитости, чем у родительских линий. Такая повышенная мощность гибридов первого поколения носит название *гетерозис*.

27. Хромосомная теория наследственности

Вспомните!

Что такое хромосомы?

Какую функцию они выполняют в клетке и в организме в целом?

Какие события происходят в профазе I мейотического деления?

В середине XIX в., когда Г. Мендель проводил свои эксперименты и формулировал закономерности, имеющие всеобщее и фундаментальное значение для развития генетики и биологии в целом, научных знаний было ещё недостаточно для понимания механизмов наследования. Именно поэтому в течение долгих лет работы Менделя были невостребованными. Однако к началу XX в. ситуация в биологии коренным образом изменилась.

Были открыты митоз и мейоз, заново переоткрыты законы Менделя. Независимо друг от друга исследователи в Германии и США предположили, что наследственные факторы расположены в хромосомах. В 1906 г. Р. Пеннет впервые описал нарушение менделевского закона независимого наследования двух признаков. При постановке классического дигибридного скрещивания растений душистого горошка, отличающихся по окраске цветков и форме пыльцы, во втором поколении Пеннет не получил ожидаемого расщепления $9 : 3 : 3 : 1$. Гибриды F_2 имели только родительские фенотипы в соотношении $3 : 1$, т. е. перераспределения признаков не произошло.

Постепенно всё больше накапливалось подобных исключений, которые не подчинялись закону независимого наследования. Возникал вопрос, а как именно расположены гены в хромосомах? Ведь число признаков, а следовательно, число генов у каждого организма гораз-

до больше, нежели число хромосом. Значит, в каждой хромосоме находится множество генов, отвечающих за разные признаки. Как же наследуются гены, расположенные в одной хромосоме?

Работа Т. Моргана. На эти вопросы смогла ответить группа американских учёных, возглавляемая Томасом Хантом Морганом (1866—1945). Работая на очень удобном генетическом объекте — плодовой мушке-дрозофиле, они провели огромную работу по изучению наследования генов.

Учёные установили, что *гены, находящиеся в одной хромосоме, наследуются совместно, т. е. сцепленно*. Это явление получило название **закона Моргана** или **закона сцепленного наследования**. Группы генов, расположенные в одной хромосоме, были названы *группой сцепления*. Так как в гомологичных хромосомах находятся одинаковые гены, число групп сцеплений равно числу пар хромосом, т. е. гаплоидному числу хромосом. У человека 23 пары хромосом и, следовательно, 23 группы сцепления, у собаки 39 пар хромосом и 39 групп сцепления, у гороха 7 пар хромосом и 7 групп сцепления и т. д. Надо отметить, что при постановке дигибридных скрещиваний Менделю удивительно повезло: гены, отвечающие за разные признаки (цвет и форма горошин), находились в разных хромосомах. Могло быть иначе, и тогда закономерность независимого расщепления им не была бы обнаружена.

Итогом работы группы Т. Моргана явилось создание в 1911 г. *хромосомной теории наследственности*.

Рассмотрим основные положения современной хромосомной теории наследственности.

Единица наследственности — ген, который представляет собой участок хромосомы.

Гены расположены в хромосомах в строго определённых местах (локусах), причём аллельные гены (отвечающие за развитие одного признака) расположены в одинаковых локусах гомологичных хромосом.

Гены расположены в хромосомах в линейном порядке, т. е. друг за другом.

Нарушение сцепления. Однако в некоторых скрещиваниях при анализе наследования генов, расположенных в одной хромосоме, было обнаружено нарушение сцепления. Оказалось, что иногда парные гомологичные хромосомы могут обмениваться друг с другом одинаковыми гомологичными участками. Для того чтобы это произошло, хромосомы должны расположиться в непосредственной близости друг к другу. Такое временное попарное сближение гомологичных хромосом называют конъюгацией. При этом хромосомы могут обмениваться расположенными друг напротив друга локусами, содержащими одинаковые гены. Это явление получило название *кроссинговера*.

Вспомните деление мейоза, в процессе которого образуются половые клетки. В профазе первого мейотического деления при образовании бивалента (тетрады), когда удвоенные гомологичные хромосомы встают параллельно друг другу, может произойти подобный обмен (см. рис. 66). Такое событие приводит к рекомбинированию генетического материала, увеличивает разнообразие потомков, т. е. повышает наследственную изменчивость и, следовательно, играет важную роль в эволюции.

Причём чем дальше друг от друга расположены гены в хромосоме, тем больше вероятность, что перекрёст произойдёт между ними. Таким образом, частота кроссинговера прямо пропорциональна расстоянию между генами. Поэтому, основываясь на результатах скрещивания, можно определить это расстояние, которое измеряют в относительных единицах — морганидах (М). 1 М соответствует 1% кроссоверных особей в потомстве.

Генетические карты. Явление обмена аллельными генами между гомологичными хромосомами помогло учёным определить место расположения каждого гена в хромосоме, т. е. построить *генетические карты*. Генетическая карта хромосомы представляет собой схему взаимного расположения генов, находящихся в одной хромосоме, т. е. в одной группе сцепления (рис. 81). Построение подобных карт представляет большой интерес и для фундаментальных исследований, и для решения самых разных практических задач. Например, генетические карты хромосом человека очень важны для диагностики ряда тяжёлых наследственных заболеваний.

В настоящее время на смену простым генетическим картам приходят молекулярно-генетические карты, которые содержат информацию о нуклеотидных последовательностях генов.

Вопросы для повторения и задания

1. Что такое сцепленное наследование?
2. Что представляют собой группы сцепления генов?
3. Что является причиной нарушения сцепления генов?
4. Каково биологическое значение обмена аллельными генами между гомологичными хромосомами?
5. Подтверждена ли цитологически теория сцепленного наследования?

Подумайте! Выполните!

1. Изобразите схематично кроссинговер, происходящий при образовании гамет у организма с генотипом $AaBb$. Какие типы гамет образуются у такого организма, если гены сцеплены, причём в одной хромосо-

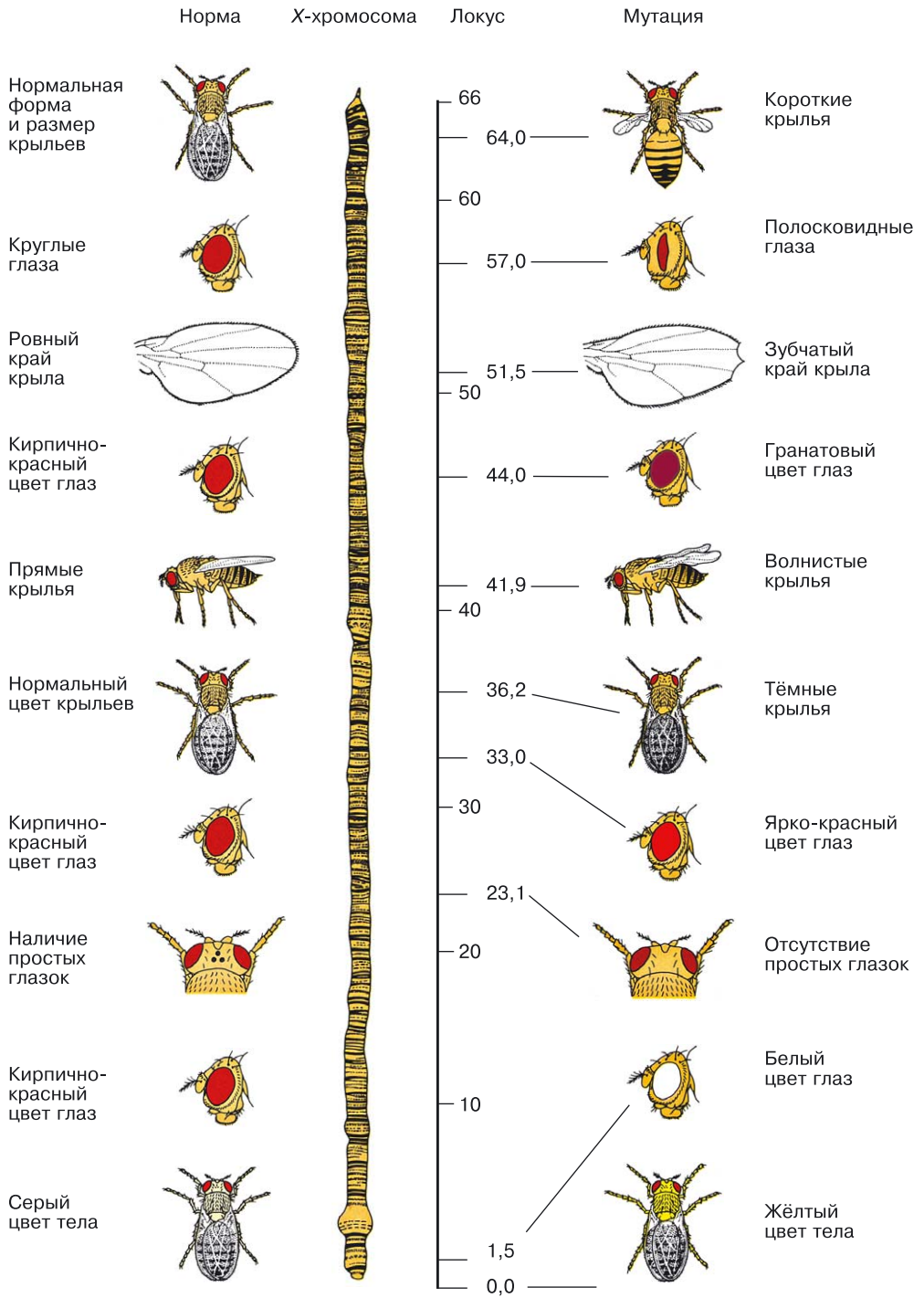


Рис. 81. Генетическая карта X-хромосомы дрозофилы

ме локализованы доминантные аллели (A и B), а в другой — рецессивные (a и b)?

2. Рассмотрите рис. 81. Определите, на каком расстоянии (в морганидах) находятся гены, отвечающие за формирование формы глаз (круглые — полосковидные) и цвета глаз (белые — кирпично-красные); формы крыльев (прямые — волнистые) и размера крыльев (норма и короткие). Между какими парами генов с большей вероятностью произойдёт перекрёст? Объясните свою точку зрения.

28. Современные представления о гене и геноме

Вспомните!

Что такое ген и генотип?

Что вам известно о современных достижениях в области генетики?

В 1988 г. в США по инициативе лауреата Нобелевской премии Джеймса Уотсона и в 1989 г. в России под руководством академика Александра Александровича Баева были начаты работы по реализации грандиозного мирового проекта «Геном человека». По масштабам финансирования этот проект сравним с космическими проектами. Целью первого этапа работы было определение полной последовательности нуклеотидов в ДНК человека. Сотни учёных многих стран мира в течение 10 лет трудились над решением этой задачи. Все хромосомы были «поделены» между научными коллективами стран — участниц проекта. России для исследования достались третья, тринадцатая и девятнадцатая хромосомы.

Весной 2000 г. в канадском городе Ванкувере подвели итоги первого этапа. Было официально объявлено, что нуклеотидная последовательность всех хромосом человека расшифрована. Трудно переоценить значение этой работы, так как знание структуры генов человеческого организма позволяет понять механизмы их функционирования и, следовательно, определить влияние наследственности на формирование признаков и свойств организма, на здоровье и продолжительность жизни. В ходе исследований было обнаружено множество новых генов, чью роль в формировании организма в дальнейшем предстоит изучить более подробно. Изучение генов ведёт к созданию принципиально новых средств диагностики и способов лечения наследственных заболеваний. Расшифровка последовательности ДНК человека имеет огромное практическое значение для определения генетической совместимости при пересадке органов, для генетической дактилоскопии и генотипирования. ■

■ По мнению учёных, если XX век был веком генетики, то XXI век будет веком геномики (термин введён в 1987 г.).

Геномика — наука, которая изучает структурно-функциональную организацию генома, представляющего собой совокупность генов и генетических элементов, определяющих все признаки организма.

Но не только для биологии и медицины оказались важны полученные сведения. На основе знаний структуры генома человека можно реконструировать историю человеческого общества и эволюцию человека как биологического вида. Сравнение геномов разных видов организмов позволяет изучать происхождение и эволюцию жизни на Земле.

Что же представляет собой геном человека?

Геном человека. Вам уже известны понятия «ген» и «генотип». Термин «*геном*» впервые был введён немецким ботаником Гансом Винклером в 1920 г., который охарактеризовал его как совокупность генов, характерных для гаплоидного набора хромосом данного вида организма. В отличие от генотипа, геном является характеристикой вида, а не отдельной особи. Каждая гамета диплоидного организма, несущая гаплоидный набор хромосом, по сути, содержит геном, характерный для данного вида. Вспомните наследование признаков у гороха. Гены окраски семени, формы семени, окраски цветка есть у каждого растения, они являются обязательными для его существования и входят в геном данного вида. Но у любого растения гороха, как у всех диплоидных организмов, существуют два аллеля каждого гена, расположенные в гомологичных хромосомах. У одного растения это могут быть одинаковые аллели, отвечающие за жёлтую окраску горошин, у другого — разные, обуславливающие жёлтую и зелёную, у третьего — оба аллеля будут определять развитие зелёной окраски семян, и так по всем признакам. Эти индивидуальные отличия являются характеристикой *генотипа* конкретной особи, а не генома. Итак, геном — это «список» генов, необходимых для нормального функционирования организма.

Расшифровка полной последовательности нуклеотидов в ДНК человека позволила оценить общее число генов, составляющих геном. Оказалось, что человеческий геном содержит 20—25 тыс. активных генов, хотя точное число пока не известно. Раньше предполагали, что количество генов у человека в 4—5 раз больше — около 100 тыс., поэтому данные результаты стали своего рода сенсацией. У каждого из нас генов всего в 4 раза больше, чем у дрожжей, и всего в 1,5—2 раза больше, чем у дрозофилы. По сравнению с другими организмами мы имеем не так уж много генов. Может быть, существуют какие-то особенности в строении и функционировании нашего генома, которые позволяют человеку быть сложноорганизованным существом?

Строение гена эукариот. В среднем на один ген в хромосоме человека приходится около 50 тыс. нуклеотидов. Существуют очень короткие гены. Например, белок энкефалин, который синтезируется в нейронах головного мозга и влияет на формирование наших положительных эмоций, состоит всего из 5 аминокислот. Следовательно, ген, отвечающий за его синтез, содержит всего около двух десятков нуклеотидов. А самый длинный ген, кодирующий один из мышечных белков, состоит из 2,5 млн нуклеотидов.

В геноме человека, так же как и у других млекопитающих, участки ДНК, кодирующие белки, составляют менее 5% от всей длины хромосом. Остальную, большую часть ДНК раньше называли избыточной, но теперь стало ясно, что она выполняет очень важные регуляторные функции, определяя, в каких клетках и когда должны функционировать те или иные гены. У более просто организованных прокариотических организмов, геном которых представлен одной кольцевой молекулой ДНК, на кодирующую часть приходится до 90% от всего генома.

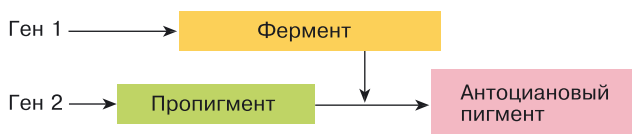
Все десятки тысяч генов не работают одновременно в каждой клетке многоклеточного организма, этого не требуется. Существующая специализация между клетками определяется избирательным функционированием определённых генов. Мышечной клетке не надо синтезировать кератин, а нервной — мышечные белки. Хотя надо отметить, что существует довольно большая группа генов, которые работают практически постоянно во всех клетках. Это гены, в которых закодирована информация о белках, необходимых для осуществления жизненно важных функций клетки, таких как репликация, транскрипция, синтез АТФ и многие другие.

В соответствии с современными научными представлениями ген эукариотических клеток, кодирующий определённый белок, всегда состоит из нескольких обязательных элементов. Как правило, в начале и в конце гена располагаются специальные *регуляторные участки*; они определяют, когда, при каких обстоятельствах и в каких тканях будет работать этот ген. Подобные регуляторные участки дополнительно могут находиться и вне гена, располагаясь достаточно далеко, но тем не менее активно участвуя в его управлении.

Кроме регуляторных зон существует *структурная часть* гена, которая, собственно, и содержит информацию о первичной структуре соответствующего белка. У большинства генов эукариот она существенно короче регуляторной зоны.

Взаимодействие генов. Необходимо отчётливо представлять себе, что работа одного гена не может осуществляться изолированно от всех остальных. Взаимовлияние генов многообразно, и в формировании большинства признаков организма обычно принимает участие

Рис. 82. Схема образования пигмента у душистого горошка



не один и не два, а десятки разных генов, каждый из которых вносит свой определённый вклад в этот процесс.

По данным проекта «Геном человека», для нормального развития клетки гладкой мышечной ткани необходима слаженная работа 127 генов, а в формировании поперечно-полосатого мышечного волокна участвуют продукты 735 генов.

В качестве примера взаимодействия генов рассмотрим, как наследуется окраска цветка у некоторых растений. В клетках венчика душистого горошка синтезируется некое вещество, так называемый пропигмент, который под действием специального фермента может превратиться в антоциановый пигмент, вызывающий пурпурную окраску цветка. Значит, наличие окраски зависит от нормального функционирования по крайней мере двух генов, один из которых отвечает за синтез пропигмента, а другой — за синтез фермента (рис. 82). Нарушение в работе любого из этих генов приведёт к нарушению синтеза пигмента и, как следствие, к отсутствию окраски; при этом венчик цветков будет белый.

Иногда встречается и противоположная ситуация, когда один ген влияет на развитие нескольких признаков и свойств организма. Такое явление называют *плейотропией* или множественным действием гена. Как правило, такое действие вызывают гены, функционирование которых очень важно на ранних стадиях онтогенеза. У человека подобным примером может служить ген, участвующий в формировании соединительной ткани. Нарушение в его работе приводит к развитию сразу нескольких симптомов (синдром Марфана): длинные «паучьи» пальцы, очень высокий рост из-за сильного удлинения конечностей, высокая подвижность суставов, нарушение структуры хрусталика и аневризма (выпячивание стенки) аорты.

Вопросы для повторения и задания

1. Что такое геном? Выберите самостоятельно критерии сравнения и сравните понятия «геном» и «генотип».
2. Чем определяется существующая специализация клеток?
3. Какие обязательные элементы входят в состав гена эукариотической клетки?
4. Приведите примеры взаимодействия генов.

Подумайте! Выполните!

1. Митохондрии содержат ДНК, гены которой кодируют синтез многих белков, необходимых для построения и функционирования этих органоидов. Подумайте, как будут наследоваться эти внеядерные гены.
2. Вспомните известные вам особенности развития человека. На каком этапе эмбриогенеза уже возникает чёткая дифференциация клеток?
3. Создайте портфолио по теме «Исследования ДНК человека: надежды и опасения».

Узнайте больше

Взаимодействие неаллельных генов. Известно несколько видов взаимодействия неаллельных генов.

Комплементарное взаимодействие. Явление взаимодействия нескольких неаллельных генов, приводящее к развитию нового проявления признака, отсутствующего у родителей, называют комплементарным взаимодействием. Пример наследования окраски цветка у душистого горошка, приведённый в § 28, относится как раз к этому типу взаимодействия генов. Доминантные аллели двух генов (A и B) каждый в отдельности не могут обеспечить синтез пигмента. Антоциановый пигмент, вызывающий пурпурную окраску цветка, начинает синтезироваться только в том случае, когда в генотипе присутствуют доминантные аллели обоих генов ($A_B_$) (рис. 83).

Известным примером комплементарного взаимодействия является наследование формы гребня у кур (рис. 84). Существует четыре формы гребня, формирование которых определяется взаимодействием двух неаллельных генов — A и B . При наличии в генотипе доминантных аллелей только гена A (A_bb) образуется розовидный гребень, наличие доминантных аллелей второго гена B ($aaB_$) обуславливает образование гороховидного гребня. Если в генотипе присутствуют доминантные аллели обоих генов ($A_B_$), образуется ореховидный гребень, а при отсутствии доминантных аллелей ($aabb$) развивается простой гребень.

Эпистаз. Взаимодействие неаллельных генов, при котором ген одной аллельной пары подавляет проявление гена другой аллельной пары, называют эпистазом. Гены, которые подавляют действие других генов, называют ингибиторами или супрессорами. Гены-ингибиторы могут быть как доминантными (I), так и рецессивными (i), поэтому различают доминантный и рецессивный эпистазы.

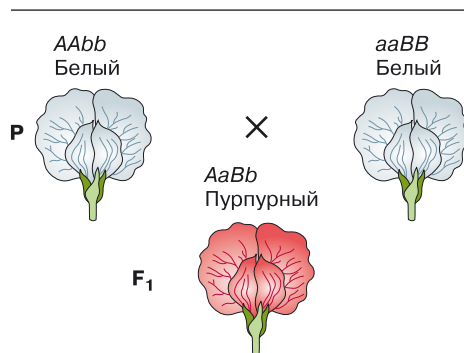


Рис. 83. Наследование окраски венчика у душистого горошка

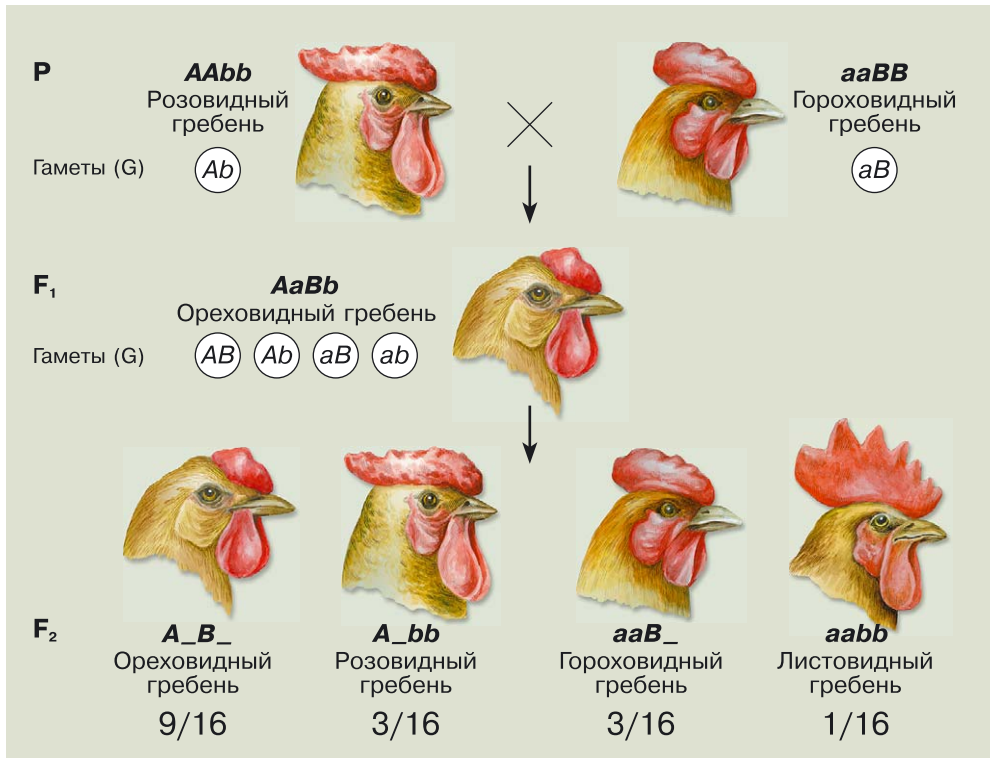


Рис. 84. Наследование формы гребня у кур

При *доминантном эпистазе* один доминантный ген (*I*) подавляет проявление другого неаллельного доминантного гена.

Возможны два варианта расщепления по фенотипу при доминантном эпистазе.

1. Гомозиготы по рецессивным аллелям (*aa ii*) фенотипически не отличаются от организмов, имеющих в своём генотипе доминантные аллели гена-ингибитора. У тыквы окраска плода может быть жёлтой (*A*) и зелёной (*a*) (рис. 85). Проявление этой окраски может быть подавлено доминантным геном-ингибитором (*I*), в результате чего сформируются белые плоды (*A_I_*; *aal_*).

P: *AAII* × *aa ii*
белая × зелёная
F₁: *AaIi*
белая

F₂: $\frac{9}{16} A_I_$; $\frac{3}{16} aal_$; $\frac{3}{16} A_ii$; $\frac{1}{16} aa ii$
белые (12) жёлтые (3) зелёные (1)

В описанном и аналогичных случаях при расщеплении в F₂ по генотипу 9 : 3 : 3 : 1 расщепление по фенотипу соответствует 12 : 3 : 1.

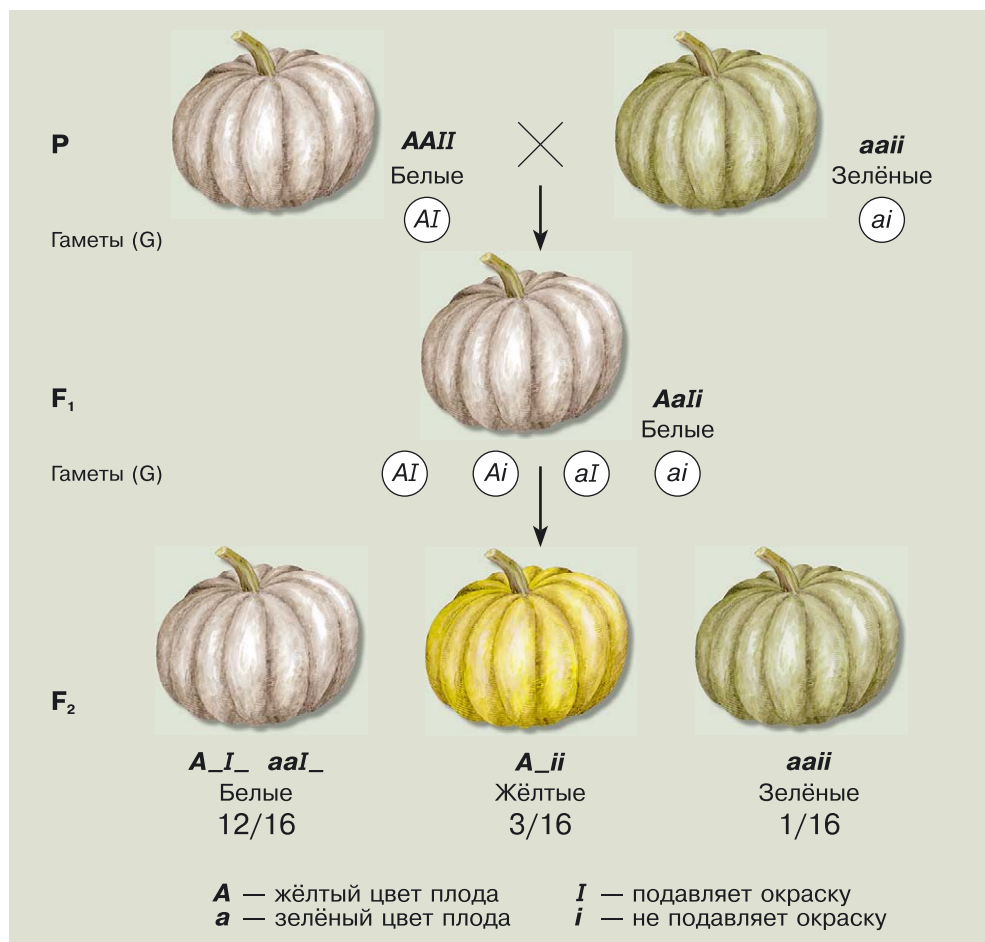


Рис. 85. Наследование окраски плода у тыквы

2. Гомозиготы по рецессивным аллелям (*aaII*) не отличаются по фенотипу от организмов с генотипами *A_I_* и *aaI_*.

У кукурузы структурный ген *A* определяет окраску зерна: пурпурная (*A*) или белая (*a*). При наличии доминантного аллеля гена-ингибитора (*I*) пигмент не синтезируется.

P: *AAII* × *aaII*
белая белая
F₁: *AaII*
белая

F₂: $\frac{9}{16}$ *A_I_*; $\frac{3}{16}$ *aaI_*; $\frac{1}{16}$ *aaII*;
белые (13)

$\frac{3}{16}$ *A_ii*;
пурпурные (3)

В F_2 у $9/16$ растений ($A_I_$) пигмент не синтезируется, потому что в генотипе присутствует доминантный аллель гена-ингибитора (I). У $3/16$ растений ($aal_$) окраска зерна белая, так как в их генотипе нет доминантного аллеля A , отвечающего за синтез пигмента, и, кроме того, присутствует доминантный аллель гена-ингибитора. У $1/16$ растений ($aaii$) зёрна тоже белые, потому что в их генотипе нет доминантного аллеля A , отвечающего за синтез пурпурного пигмента. Только у $3/16$ растений, имеющих генотип A_ii , формируются окрашенные (пурпурные) зёрна, так как при наличии доминантного аллеля A в их генотипе отсутствует доминантный аллель гена ингибитора.

В этом и других аналогичных примерах расщепление по фенотипу в F_2 13 : 3. (Обратите внимание, что по генотипу расщепление всё равно остаётся прежним — 9 : 3 : 3 : 1, соответствующим расщеплению в дигибридном скрещивании.)

При *рецессивном эпистазе* рецессивный аллель гена-ингибитора в гомозиготном состоянии подавляет проявление неаллельного доминантного гена.

У льна ген B определяет пигментацию венчика: аллель B — голубой венчик, аллель b — розовый. Окраска развивается только при наличии в генотипе доминантного аллеля другого неаллельного гена — I . Присутствие в генотипе двух рецессивных аллелей ii приводит к формированию неокрашенного (белого) венчика.

$P: bblI \quad \times \quad BBii$
розовый белый

$F_1: \quad \quad \quad Bbli$
 голубой

$F_2: 9/16 B_I_;$ $3/16 bblI_;$ $3/16 B_ii;$ $1/16 bbii$
голубые (9) розовые (3) белые (4)

При рецессивном эпистазе в этом и других аналогичных случаях в F_2 наблюдается расщепление по фенотипу 9 : 3 : 4.

Полимерное действие генов (полимерия). Ещё одним вариантом взаимодействия неаллельных генов является полимерия. При таком взаимодействии степень выраженности признака зависит от числа доминантных аллелей этих генов в генотипе: чем больше в сумме доминантных аллелей, тем сильнее выражен признак. Примером такого полимерного взаимодействия является наследование окраски зёрен у пшеницы (рис. 86). Растения с генотипом $A_1A_1A_2A_2$ имеют тёмно-красные зёрна, растения $a_1a_1a_2a_2$ — белые зёрна, а растения с одним, двумя или тремя доминантными аллелями — разную степень окраски: от розовой до красной. Такую полимерию называют *накопительной* или *кумулятивной*.

Однако существуют варианты и *некумулятивной полимерии*. Например, наследование формы стручка у пастушьей сумки определяется двумя неаллельными генами — A_1 и A_2 . При наличии в генотипе хотя бы одного доминантного аллеля формируется треугольная форма стручка, при отсутствии доминантных алле-

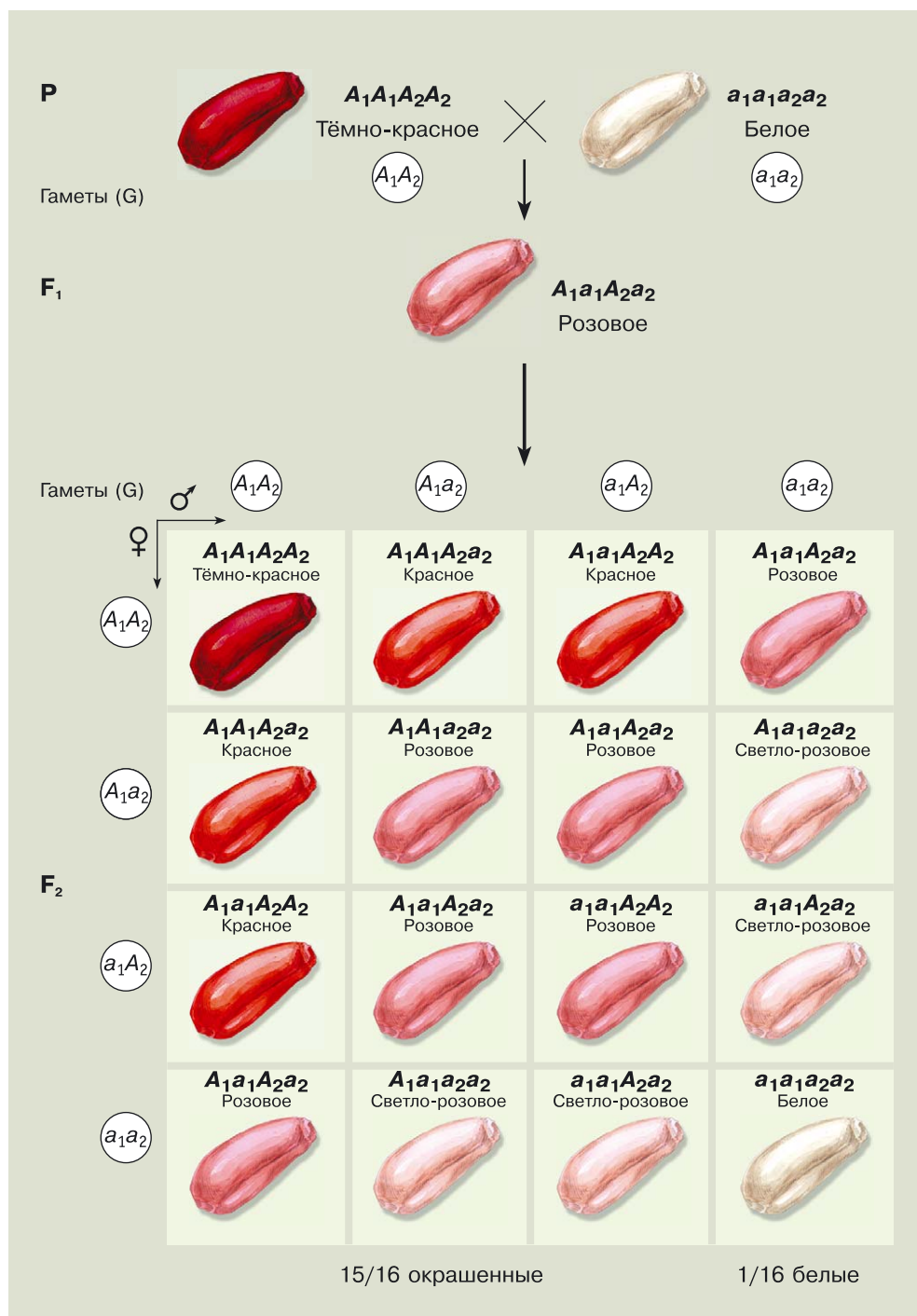


Рис. 86. Наследование окраски зёрен пшеницы

лей ($a_1a_1a_2a_2$) стручок имеет овальную форму. В этом случае расщепление во втором поколении по фенотипу будет 15 : 1.

P: $A_1A_1A_2A_2$ × $a_1a_1a_2a_2$
треугол. форма овал. форма

F_1 : $A_1a_1A_2a_2$
треугол. форма

F_2 : $\frac{9}{16} A_1A_2$; треугол. форма (9)	$\frac{3}{16} A_1a_2a_2$; треугол. форма (3)	$\frac{3}{16} a_1a_1A_2$; треугол. форма (3)	$\frac{1}{16} a_1a_1a_2a_2$ овал. форма (1)
	треугол. форма ($\frac{15}{16}$)		овал. форма ($\frac{1}{16}$)

29. Генетика пола

Вспомните!

Каково соотношение мужчин и женщин в человеческой популяции?
Что вам известно об определении пола из предыдущих курсов биологии?
Какие организмы называют гермафродитными?

Проблема взаимоотношения полов, морфологические и физиологические отличия мужчин и женщин, их особенности темперамента и поведения всегда интересовали человечество. От чего зависит пол новорождённого младенца? Нельзя ли предсказать или предопределить рождение ребёнка определённого пола? Почему у раздельнополых видов, к которым относится человек, численность мужских и женских особей, как правило, примерно одинакова? Наконец, почему у одной и той же пары родителей рождаются потомки разного пола?

Ещё Г. Мендель обратил внимание на то, что соотношение 1 : 1 по половой принадлежности напоминает расщепление, которое получается при анализирующем скрещивании, если исследуемая особь имела гетерозиготный генотип ($Aa \times aa \rightarrow 1Aa : 1aa$). Логично было предположить, что один пол гетерозиготен, а второй — гомозиготен по гену, который определяет пол организма. Но всё оказалось гораздо сложнее.

Существуют некоторые виды покрытосеменных растений, у которых пол действительно определяется отдельным геном, как признак, наследуемый по законам Менделя. Но у раздельнополых животных для определения и формирования пола одного гена явно недостаточно.

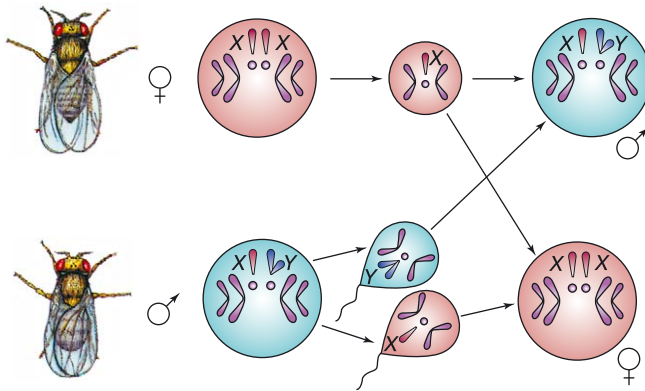


Рис. 87. Расщепление по признаку пола у дрозофилы

Хромосомное определение пола. Впервые подробно генетику пола изучил Т. Морган в опытах с дрозофилой. Ему удалось установить, что самцы и самки мухи-дрозофилы отличаются по хромосомному набору. И у тех и у других в клетках тела присутствовало по 8 хромосом, 6 из которых были одинаковы у самцов и у самок, а одна пара хромосом различалась у особей мужского и женского пола. Три пары хромосом, одинаковых у самца и самки, были названы *аутосомами*, а пара, которой женский пол отличался от мужского, — *половыми хромосомами*. В клетках тела самок дрозофил присутствуют две одинаковые половые хромосомы, которые обозначают XX , а в клетках самцов половые хромосомы разные — X и Y .

При образовании половых клеток в процессе мейоза в гамету попадает только одна хромосома из каждой пары. Все яйцеклетки, образующиеся у самки дрозофилы, получают X -хромосому из пары половых хромосом, т. е. все будут одного типа. Пол, который формирует гаметы одного типа по половым хромосомам, называют *гомогаметным* (от греч. *homos* — одинаковый). В процессе сперматогенеза у самца дрозофилы с равной вероятностью будут образовываться гаметы двух типов, содержащие X - и Y -хромосомы, т. е. мужской пол у дрозофилы *гетерогаметный* (от греч. *heteros* — иной, другой) (рис. 87). При оплодотворении, если яйцеклетка сливается со сперматозоидом, содержащим X -хромосому, образуется пара половых хромосом XX и формируется самка. Если сперматозоид содержал Y -хромосому, то разовьётся самец. Пол будущей особи определяется в момент оплодотворения и зависит от набора половых хромосом.

По такому же механизму определяется пол и у человека. На рис. 88 представлены мужской и женский кариотипы. Половые хромосомы у женщины одинаковы, их называют X -хромосомами, у мужчин имеется одна X -хромосома и одна Y -хромосома (рис. 89). Остальные 22 пары хромосом одинаковы у мужчин и у жен-

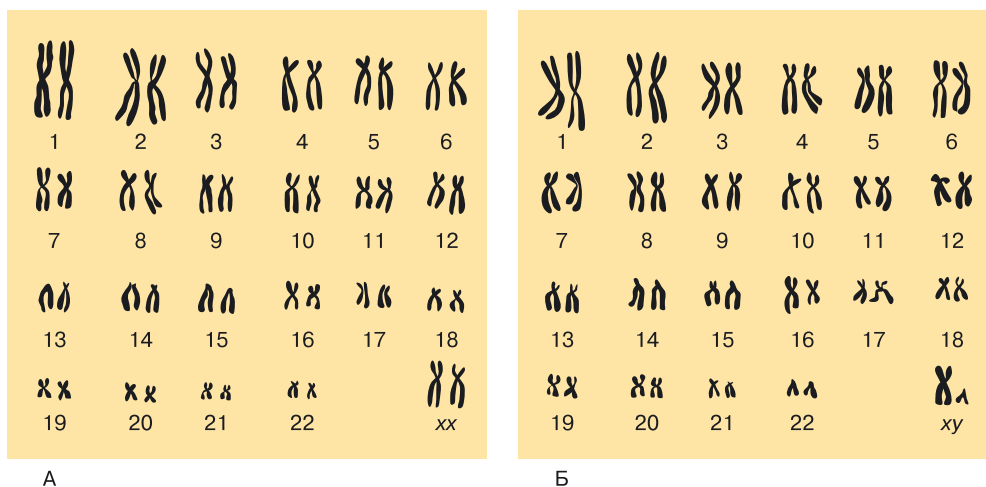


Рис. 88. Кариотипы человека: А — женский; Б — мужской

щин, это аутосомы. Следовательно, пол младенца зависит от того, какой сперматозоид оплодотворит яйцеклетку (рис. 90).

Изначально зародыш человека бисексуален, однако присутствие Y-хромосомы направляет развитие ещё недифференцированных половых органов плода по мужскому типу, превращая их в семенники.



Рис. 89. Половые хромосомы человека: X и Y (электронная фотография)

В Y-хромосоме находится специальный ген, вызывающий на 4—8-й неделе эмбрионального периода эту специализацию. В отсутствие Y-хромосомы развитие зародыша идёт по женскому типу.

Ведущая роль Y-хромосомы в определении мужского пола подтверждается следующим примером. Иногда в процессе мейоза нарушается расхождение хромосом и образуется гамета, содержащая только аутосомы. Если такая яйцеклетка будет оплодотворена сперматозоидом, несущим X-хромосому, сформируется зародыш только с одной половой X-хромосомой (X0). Рождённый ребёнок будет женского пола. Эмбрионы Y0

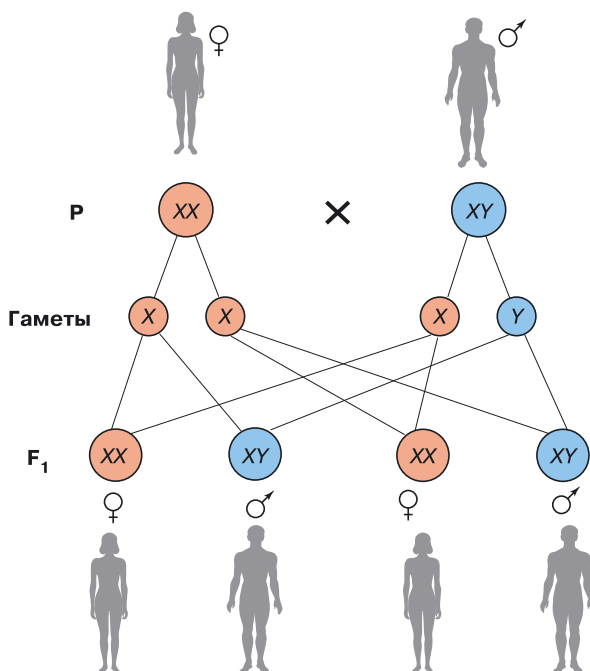


Рис. 90. Расщепление по признаку пола у человека

нежизнеспособны, потому что в X-хромосомах находятся гены, наличие которых обязательно для развития организма.

Почти у всех млекопитающих, у большинства насекомых и многих паукообразных женский пол гомогаметный (XX), а мужской — гетерогаметный (XY). У птиц и бабочек гетерогаметным является женский пол (ZW), а гомогаметным — мужской (ZZ). Существуют и иные механизмы определения пола, например у кузнечиков самки имеют две одинаковые половые хромосомы (XX), а самцы всего одну (X0) (рис. 91). У пчёл особи женского пола (матки и рабочие пчёлы) развиваются из диплоидных оплодотворённых яйцеклеток (2n), а мужские особи (трутни) — из неоплодотворённых

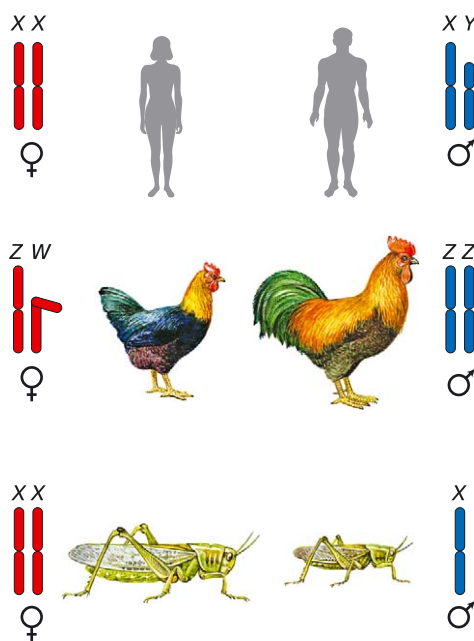


Рис. 91. Определение пола у разных видов организмов

■ Принадлежность особей к тому или иному полу может определяться не только в момент оплодотворения, как это происходит у большинства организмов. Иногда пол определяется влиянием окружающей среды уже после оплодотворения. Например, у морского червя боннелии пол личинки будет зависеть от того места, куда она попадёт после завершения периода свободного плавания. Если она, оседая на дно, попадёт на тело взрослой самки, из неё под действием химических веществ, выделяемых самкой, сформируется самец. Если личинка оседает на дно и рядом нет половозрелой женской особи, она превращается в самку.

(1n), хромосомный набор которых удваивается в процессе индивидуального развития. ■

Сцепленное с полом наследование. Половые хромосомы, как и аутосомы, содержат гены, определяющие развитие определённых признаков организма. Разбирая опыты Менделя, мы рассматривали особенности наследования признаков, гены которых находились в неполовых хромосомах — аутосомах. В этом случае наследование осуществлялось независимо от того, кто из родителей (мать или отец) имел тот или иной генотип. Мы могли в качестве женской особи взять растение гороха, выросшее из жёлтого семен-

ни, и опылить его пылью растения, выросшего из зелёной горошины, а могли сделать наоборот, и результат скрещивания остался бы неизменным. Однако ситуация кардинально меняется, если мы рассматриваем наследование признаков, гены которых находятся в половых хромосомах. Такое наследование называют *сцепленным с полом*.

Гены, расположенные в Y-хромосоме, передаются только по мужской линии, от отца к сыну, поэтому признаки, за которые они отвечают, у женщин отсутствуют. Кроме уже вышеупомянутого гена, отвечающего за дифференцировку половых желёз, в Y-хромосоме находятся гены, которые контролируют раннее облысение, повышенную волосатость ушей, развитие перепонки между пальцами ног.

В X-хромосоме находится ген, определяющий свёртываемость крови. Его рецессивный аллель вызывает тяжёлое заболевание — гемофилию. Кроме этого, в X-хромосоме находятся гены, влияющие на размер и форму зубов, развитие дальтонизма (неспособность различать зелёный и красный цвета), атрофию зрительного нерва и многие другие признаки. X-хромосома и Y-хромосома содержат разные гены, т. е. не являются гомологичными хромосомами, это и определяет особенность наследования признаков, сцепленных с полом.

Для того чтобы у женщины проявился признак, за развитие которого отвечает рецессивный аллель, локализованный в X-хромосоме, необходимо, чтобы обе X-хромосомы содержали такие рецессивные аллели. Наличие в одной из X-хромосом доминантного аллеля не

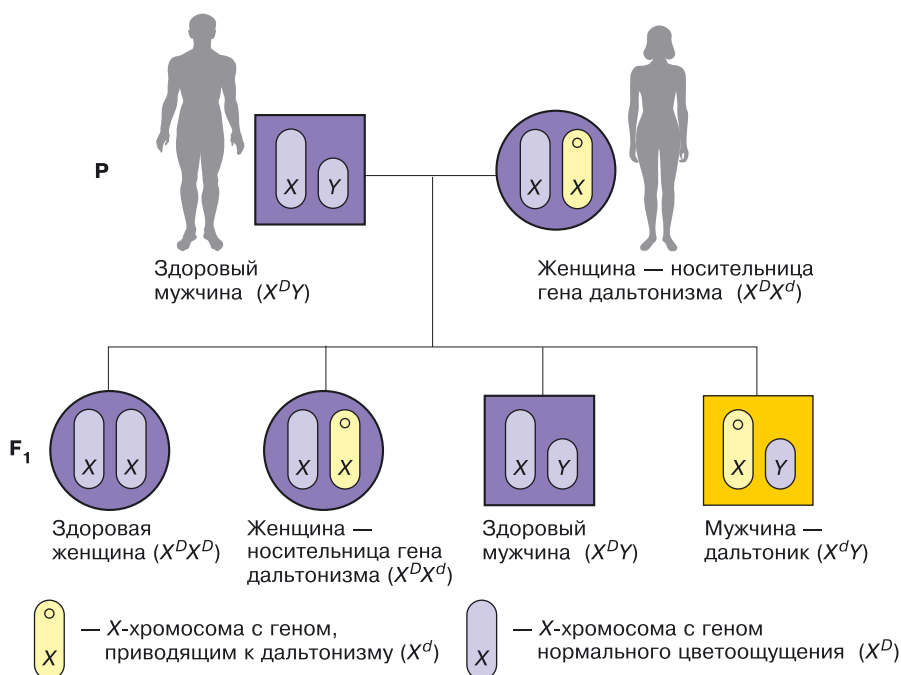


Рис. 92. Наследование дальтонизма

позволит данному признаку сформироваться. Иное дело мужской гетерогаметный пол. Рецессивный аллель, расположенный в X-хромосоме, обязательно проявится в фенотипе, потому что в негомологичной Y-хромосоме нет доминантного аллеля, подавляющего действие рецессивного аллеля. Именно поэтому признаки, сцепленные с полом, гораздо чаще проявляются у мужчин.

Рассмотрим в качестве примера наследование дальтонизма (рис. 92).

Было установлено, что дальтонизм обусловлен рецессивным аллелем (X^d), нормальное цветоощущение — доминантным аллелем (X^D), поэтому женщины, гетерозиготные по этому гену ($X^D X^d$), обладали нормальным зрением. Рассмотрим, какие дети могут родиться у женщины — носительницы гена дальтонизма ($X^D X^d$), вышедшей замуж за мужчину с нормальным цветоощущением ($X^D Y$). Женщина передаст половине своих сыновей и дочерей X-хромосому с геном дальтонизма (X^d), а половине — X-хромосому с геном нормального цветоощущения (X^D). В то же время все дочери получают от отца вторую X-хромосому с геном нормального цветовосприятия (X^D), поэтому у всех них будет нормальное зрение, но половина из них будет носительницами рецессивного гена дальтонизма, полученного от матери ($1X^D X^D : 1X^D X^d$). Все сыновья получают от отца Y-хромосому, и половина из них будет дальтониками ($1X^D Y : 1X^d Y$).

Вопросы для повторения и задания

1. Какие хромосомы называют половыми?
2. Что такое аутосомы?
3. Что такое гомогаметный и гетерогаметный пол? Всегда ли мужской пол является гетерогаметным?
4. Когда происходит генетическое определение пола у человека и чем это обусловлено?
5. Какие вам известны механизмы определения пола? Приведите примеры.
6. Объясните, что такое наследование, сцепленное с полом.
7. Как наследуется дальтонизм? Какое цветоощущение будет у детей, мать которых — дальтоник, а отец имеет нормальное зрение?

Подумайте! Выполните!

1. Объясните с позиции генетики, почему среди мужчин гораздо больше дальтоников, чем среди женщин.
2. Многие молодые мужья хотят, чтобы их первым ребёнком был сын, и после рождения дочери обвиняют жён в том, что они не оправдали их ожидания. Как вы считаете, имеют ли их претензии какие-либо основания?

30. Изменчивость: наследственная и ненаследственная

Вспомните!

Какие виды изменчивости вам известны?

Приведите примеры признаков, изменяющихся под воздействием внешней среды.

Что такое мутации?

Изменчивость — одно из важнейших свойств живого, способность живых организмов приобретать отличия от особей как других видов, так и своего вида.

Различают два вида изменчивости: *ненаследственная* (фенотипическая, или модификационная) и *наследственная* (генотипическая).

Ненаследственная (модификационная) изменчивость. Этот вид изменчивости представляет собой процесс появления новых признаков под влиянием факторов внешней среды, не затрагивающих генотип. Следовательно, возникающие при этом видоизменения признаков — модификации — по наследству не передаются (рис. 93).

Два однояйцевых (монозиготных) близнеца, имеющие абсолютно одинаковые генотипы, но волею судьбы выросшие в разных условиях, могут сильно отличаться друг от друга. Классическим примером, доказывающим воздействие внешней среды на развитие признаков, является стрелолист. У этого растения развивается три вида листьев в зависимости от условий произрастания — на воздухе, в толще воды или на её поверхности.

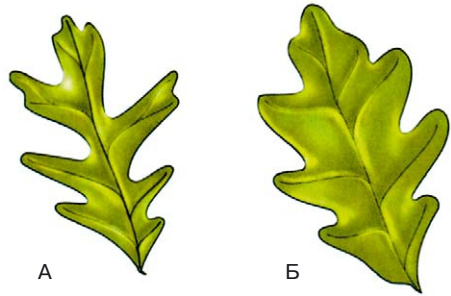


Рис. 93. Листья дуба, выросшие при яркой освещённости (А) и в затенённом месте (Б)

Под влиянием температуры окружающей среды изменяется окраска шерсти у гималайского кролика. Эмбрион, развиваясь в утробе матери, находится в условиях повышенной температуры, которая разрушает фермент, необходимый для синтеза пигмента, поэтому кролики рождаются совершенно белыми. Вскоре после рождения отдельные выступающие части тела (нос, кончики ушей и хвоста) начинают темнеть, потому что там температура ниже, чем в других местах, и фермент не разрушается. Если выщипать участок белой шерсти и охладить кожу, на этом месте вырастет чёрная шерсть (рис. 94).

В сходных условиях среды у генетически близких организмов модификационная изменчивость имеет *групповой характер*, например в летний период у большинства людей под влиянием УФ-лучей в коже откладывается защитный пигмент — меланин, люди загорают.

У одного и того же вида организмов под воздействием условий внешней среды изменчивость различных признаков может быть абсолютно разной. Например, у крупного рогатого скота удои молока, масса, плодовитость очень сильно зависят от условий кормления

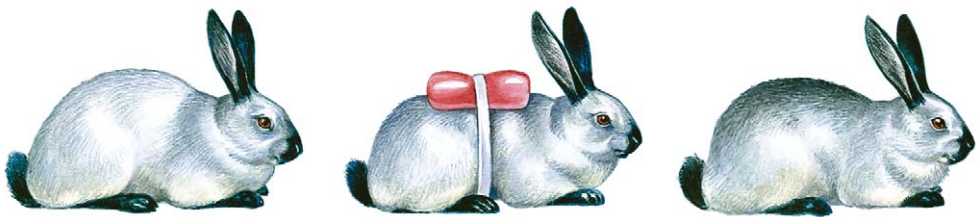


Рис. 94. Изменение окраски шерсти гималайского кролика под влиянием различных температур

и содержания, а, например, жирность молока под влиянием внешних условий изменяется очень мало. Проявления модификационной изменчивости для каждого признака ограничены своей нормой реакции. *Норма реакции* — это пределы, в которых возможно изменение признака у данного генотипа. В отличие от самой модификационной изменчивости, норма реакции наследуется, и её границы различны для разных признаков и у отдельных индивидов. Наиболее узкая норма реакции характерна для признаков, обеспечивающих жизненно важные качества организма.

Благодаря тому что большинство модификаций имеют приспособительное значение, они способствуют адаптации — приспособлению организма в пределах нормы реакции к существованию в изменяющихся условиях.

Наследственная (генотипическая) изменчивость. Этот вид изменчивости связан с изменениями генотипа, и признаки, приобретённые вследствие этого, передаются по наследству следующим поколениям. Существует две формы генотипической изменчивости: комбинативная и мутационная.

Комбинативная изменчивость заключается в появлении новых признаков в результате образования иных комбинаций генов родителей в генотипах потомков. В основе этого вида изменчивости лежит независимое расхождение гомологичных хромосом в первом мейотическом делении, случайная встреча гамет у одной и той же родительской пары при оплодотворении и случайный подбор родительских пар. Также приводит к перекомбинации генетического материала и повышает изменчивость обмен участками гомологичных хромосом, происходящий в первой профазе мейоза. Таким образом, в процессе комбинативной изменчивости структура генов и хромосом не изменяется, однако новые сочетания аллелей приводят к образованию новых генотипов и, как следствие, к появлению потомков с новыми фенотипами.

Мутационная изменчивость выражается в появлении новых качеств организма в результате образования мутаций. Впервые термин «мутация» ввёл в 1901 г. голландский ботаник Гуго де Фриз. Согласно современным представлениям *мутации* — это внезапные естественные или вызванные искусственно наследуемые изменения генетического материала, приводящие к изменению тех или иных фенотипических признаков и свойств организма. Мутации имеют ненаправленный, т. е. случайный, характер и являются важнейшим источником наследственных изменений, без которых невозможна эволюция организмов. В конце XVIII в. в Америке родилась овца с укороченными конечностями, давшая начало новой анконской породе (рис. 95). В Швеции в начале XX в. на звероводческой ферме ро-



Рис. 95. Овца анконской породы

дилась норка с платиновой окраской меха. Огромное разнообразие признаков у собак и кошек — это результат мутационной изменчивости. Мутации возникают скачкообразно, как новые качественные изменения: из остистой пшеницы образовалась безостая, у дрозофилы появились короткие крылья и полосковидные глаза, у кроликов из естественной природной окраски агуты в результате мутаций возникла белая, коричневая, чёрная окраска.

По месту возникновения различают соматические и генеративные мутации. *Соматические мутации* возникают в клетках тела и не передаются при половом размножении следующим поколениям. Примерами таких мутаций являются пигментные пятна и бородавки кожи. *Генеративные мутации* появляются в половых клетках и передаются по наследству.

По уровню изменения генетического материала различают генные, хромосомные и геномные мутации. *Генные мутации* вызывают изменения в отдельных генах, нарушая порядок нуклеотидов в цепи ДНК, что приводит к синтезу изменённого белка.

Хромосомные мутации затрагивают значительный участок хромосомы, нарушая функционирование сразу многих генов. Отдельный фрагмент хромосомы может удвоиться или потеряться, что вызывает серьёзные нарушения в работе организма, вплоть до гибели эмбриона на ранних стадиях развития.

Геномные мутации приводят к изменению числа хромосом в результате нарушений расхождения хромосом в делениях мейоза. Отсутствие хромосомы или наличие лишней приводит к неблагоприятным последствиям. Наиболее известным примером геномной



А



Б

Рис. 96. Полиплоидия. Цветки хризантемы:
А — диплоидная форма ($2n$); Б — полиплоидная форма

мутации является синдром Дауна, нарушение развития, которое возникает при появлении лишней 21-й хромосомы. У таких людей общее число хромосом равно 47.

У простейших и у растений часто наблюдается увеличение числа хромосом, кратное гаплоидному набору. Такое изменение хромосомного набора носит название *полиплоидия* (рис. 96). Возникновение полиплоидов связано, в частности, с нерасхождением гомологичных хромосом в мейозе, в результате чего у диплоидных организмов могут образовываться не гаплоидные, а диплоидные гаметы.

Мутагенные факторы. Способность мутировать — это одно из свойств генов, поэтому мутации могут возникать у всех организмов. Одни мутации несовместимы с жизнью, и получивший их эмбрион гибнет ещё в утробе матери, другие вызывают стойкие изменения признаков, в разной степени значимые для жизнедеятельности особи. В обычных условиях частота мутирования отдельного гена чрезвычайно мала (10^{-5}), но существуют факторы среды, значительно увеличивающие эту величину, вызывая необратимые нарушения в структуре генов и хромосом. Факторы, воздействие которых на живые организмы приводит к увеличению частоты мутаций, называют мутагенными факторами или мутагенами.

Все мутагенные факторы можно разделить на три группы.

Физическими мутагенами являются все виды ионизирующих излучений (γ -лучи, рентгеновские лучи), ультрафиолетовое излучение, высокая и низкая температуры.

Химические мутагены — это аналоги нуклеиновых кислот, перекиси, соли тяжёлых металлов (свинца, ртути), азотистая кислота

и некоторые другие вещества. Многие из этих соединений вызывают нарушения в редупликации ДНК. Мутагенное действие оказывают вещества, используемые в сельском хозяйстве для борьбы с вредителями и сорняками (пестициды и гербициды), отходы промышленных предприятий, отдельные пищевые красители и консерванты, некоторые лекарственные препараты, компоненты табачного дыма.

В России и в других странах мира созданы специальные лаборатории и институты, проверяющие на мутагенность все новые синтезированные химические соединения.

К группе *биологических мутагенов* относят чужеродную ДНК и вирусы, которые, встраиваясь в ДНК хозяина, нарушают работу генов.

Вопросы для повторения и задания

1. Какие виды изменчивости вам известны?
2. Что такое норма реакции?
3. Объясните, почему фенотипическая изменчивость не передаётся по наследству.
4. Что такое мутации? Охарактеризуйте основные свойства мутаций.
5. Приведите классификацию мутаций по уровню изменений наследственного материала.
6. Назовите основные группы мутагенных факторов. Приведите примеры мутагенов, относящихся к каждой группе. Оцените, есть ли в окружающей вас среде мутагенные факторы. К какой группе мутагенов они относятся?

Подумайте! Выполните!

1. Как вы считаете, могут ли факторы внешней среды повлиять на развитие организма, несущего летальную мутацию?
2. Может ли комбинативная изменчивость проявиться в отсутствие полового процесса?
3. Обсудите в классе, какие существуют способы снижения действия мутагенных факторов на человека в современном мире.
4. Можете ли вы привести примеры модификаций, которые не имеют адаптивного характера?
5. Объясните человеку, незнакомому с биологией, чем мутации отличаются от модификаций.
6. Выполните исследование: «Изучение модификационной изменчивости у учащихся (на примере температуры тела и частоты пульса, периодически измеряемых на протяжении 3 суток)».

31 ■ Генетика и здоровье человека

Вспомните!

Что такое мутагены?

Какие наследственные заболевания вам известны?

Генетика и медицина. Современная генетика человека, основываясь на законах классической генетики, изучает явления наследственности и изменчивости на всех уровнях организации: молекулярном, клеточном, организменном и популяционном. В последнее время выявлено, что у большинства людей в течение жизни проявляются те или иные наследственные заболевания, связанные с нарушением структуры наследственного материала. Изучение молекулярной природы подобных изменений, анализ закономерностей их наследования и распространения в популяциях человека, выяснение влияния мутагенных факторов на здоровье — эти важнейшие задачи генетика человека решает в тесном сотрудничестве с медициной. Проблема здоровья людей и генетика тесно взаимосвязаны. Ежегодно в нашей стране рождается около 200 тыс. детей с наследственными заболеваниями, что сравнимо с численностью жителей областного центра. Причём количество видов этих заболеваний с каждым годом увеличивается. В 1986 г. было известно около 2 тыс. наследственных патологических состояний, спустя несколько лет, в 1992 г., их число возросло уже до 5 тыс., а в настоящее время насчитывают уже свыше 6 тыс. наследственных заболеваний. Причина этого роста двояка. С одной стороны, совершенствование методов молекулярно-генетической диагностики позволяет выявлять наследственную причину заболеваний, ранее не относимых к этой категории. С другой стороны, бурное развитие науки и техники приводит к интенсивному накоплению в окружающей среде разнообразных мутагенов, способных наносить вред здоровью не только современного человека, но и будущих поколений людей.

Влияние мутагенов на организм человека. Воздействие на живой организм различных мутагенных факторов приводит к возникновению мутаций, которые оказывают, как правило, неблагоприятное влияние на жизнедеятельность как отдельных клеток, так и всего организма в целом.

Мутации, которые возникают в соматических клетках тела, вызывают преждевременное старение, сокращают продолжительность жизни, а также, в зависимости от места возникновения, влияют на определённые жизненно важные функции организма. *Соматические мутации* представляют очень серьёзную угрозу здоровью населения, так как это первый шаг к образованию злокачественных опу-

холей. Подавляющее число всех случаев заболевания раком молочной железы — результат соматических мутаций.

Под влиянием мутагенов количество изменений наследственного материала резко увеличивается. После аварии на Чернобыльской АЭС (1986) в результате радиационного воздействия частота заболеваний раком щитовидной железы в Гомельской области возросла в 20 раз. Избыточное ультрафиолетовое излучение повышает риск возникновения рака кожи.

Сочетание нескольких мутагенных факторов значительно усиливает негативный эффект их воздействия на организм. Известно, что при радиационном облучении риск заболеть раком гораздо выше у курящих людей. ■

Генеративные мутации, т. е. нарушения структуры ДНК в половых клетках, могут приводить к спонтанным абортам (выкидышам), мертворождению и к увеличению частоты наследственных заболеваний. Причём, если эти мутации не вызывают гибели организма и не ведут к серьёзным нарушениям репродуктивной функции, они будут передаваться из поколения в поколение, постепенно увеличивая частоту встречаемости в популяции.

После Чернобыльской катастрофы в районах, подвергшихся максимальному загрязнению радионуклидами, почти в 2 раза увеличилась частота рождения детей с аномалиями развития (расщелины губы и нёба, удвоение почек и мочеточников, полидактилия, нарушения развития головного мозга и др.).

Наследственные болезни человека. Причиной наследственных заболеваний человека могут быть генные, хромосомные и геномные мутации.

Генные болезни. Эти болезни возникают в результате мутации в одном гене, что приводит к изменению структуры или количества белка. Как правило, эти заболевания ведут к нарушению обмена веществ. В зависимости от расположения мутантного гена выделяют болезни аутосомного и сцепленного с полом наследования.

■ В дыму содержится более 4 тыс. химических соединений, из которых около 40 относятся к канцерогенам, а 10 активно способствуют развитию раковых заболеваний.

Компоненты табачного дыма разделяются на твёрдые и газообразные. К первым относят никотин — компонент, вызывающий физическое привыкание, смолу (табачный дёготь), свинец, мышьяк, ртуть, цезий, золото и другие элементы таблицы Менделеева.

С твёрдыми компонентами более успешно справляются сигаретные фильтры, а вот от угарного и углекислого газа, аммония, цианистого водорода и других вредных веществ в газообразном состоянии фильтры не спасают.



А



Б

Рис. 97. Мутация, вызывающая отсутствие пигментации, — альбинизм — встречается у многих видов живых организмов: А — аксолотль; Б — крыса

Рассмотрим несколько наиболее часто встречающихся аутосомных болезней. *Фенилкетонурия* — рецессивное заболевание, которое возникает в результате мутации гена, расположенного в 12-й хромосоме, и приводит к накоплению в организме человека избытка аминокислоты — фенилаланина. При отсутствии строгой диеты, исключающей продукты, содержащие фенилаланин, у ребёнка может развиваться умственная отсталость. К рецессивным болезням относится *альбинизм* — врождённое отсутствие пигментации кожи, волос и радужки глаз (рис. 97). Замена всего одного нуклеотида в молекуле ДНК, приводящая к изменению структуры молекулы гемоглобина, вызывает *серповидноклеточную анемию*. В крови таких больных обнаруживаются эритроциты серповидной формы, не способные нормально переносить кислород (рис. 98). Если мутантный ген является доминантным и подавляет «нормальный» аллельный ген, то говорят об аутосомно-доминантном заболевании. Примером такой болезни является синдром Марфана (см. § 28).

Примером заболеваний, которые наследуются сцепленно с полом, может служить одна из форм *гемофилии* — нарушение свёртываемости крови (см. § 29).

Хромосомные болезни. К хромосомным относят болезни, обусловленные геномными мутациями или структурными изменениями отдельных хромосом. В настоящее время у человека известно более 700 подобных заболеваний.

Изменения числа хромосом, как правило, возникают в результате нерасхождения гомологичных хромосом в процессе образования половых клеток одного из родителей и вызывают серьёзные наруше-

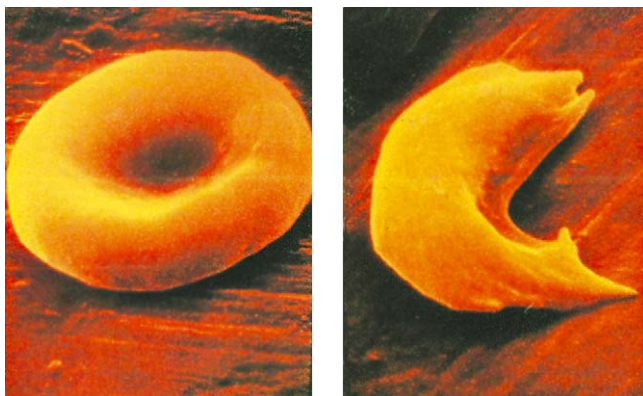


Рис. 98. Эритроциты человека: А — нормальные; Б — при серповидноклеточной анемии

ния развития (рис. 99). Самой распространённой патологией такого рода является *болезнь (синдром) Дауна* (§ 30). Лишняя 13-я хромосома приводит к развитию *синдрома Патау*, который характеризуется столь тяжёлыми отклонениями в развитии, что 95% больных детей умирает в первый год жизни. Дополнительная X-хромосома у мужчин (XXY) вызывает развитие *синдрома Клайнфельтера*, который выражается в бесплодии, женском типе скелета (широкий таз, узкие плечи), нарушении умственного развития. Отсутствие одной X-хромосомы у женщин (XO) приводит к развитию *синдрома Шерешевского — Тёрнера*. Женщины, имеющие такой хромосомный набор, бесплодны, имеют широкую грудную клетку, короткую шею и рост в среднем не более 150 см. Интересно, что женщины с лишней X-хромосомой (XXX) не имеют практически никаких физических отличий от здоровых женщин, однако у них чаще наблюдаются отклонения в поведении и трудности в обучении.

Самой известной хромосомной мутацией у человека является утрата фрагмента 5-й хромосомы, которая приводит к развитию *синдрома «кошачьего крика»*. Признаком его служит необычный плач, напоминающий мяуканье кошки, что связано с нарушением строения гортани и голосовых связок. Кроме того, у таких детей наблюдается умственное и физическое недоразвитие.

Профилактика наследственных заболеваний. В настоящее время профилактика, диагностика и лечение наследственных заболеваний приобретают очень большое значение. Наиболее эффективным методом профилактики является *здоровый образ жизни* будущих родителей.

Значительно снизить вероятность возникновения наследственных заболеваний позволяет *медико-генетическое консультирование*. Главная задача такого консультирования заключается в прогнозировании появления детей с той или иной наследственной аномали-

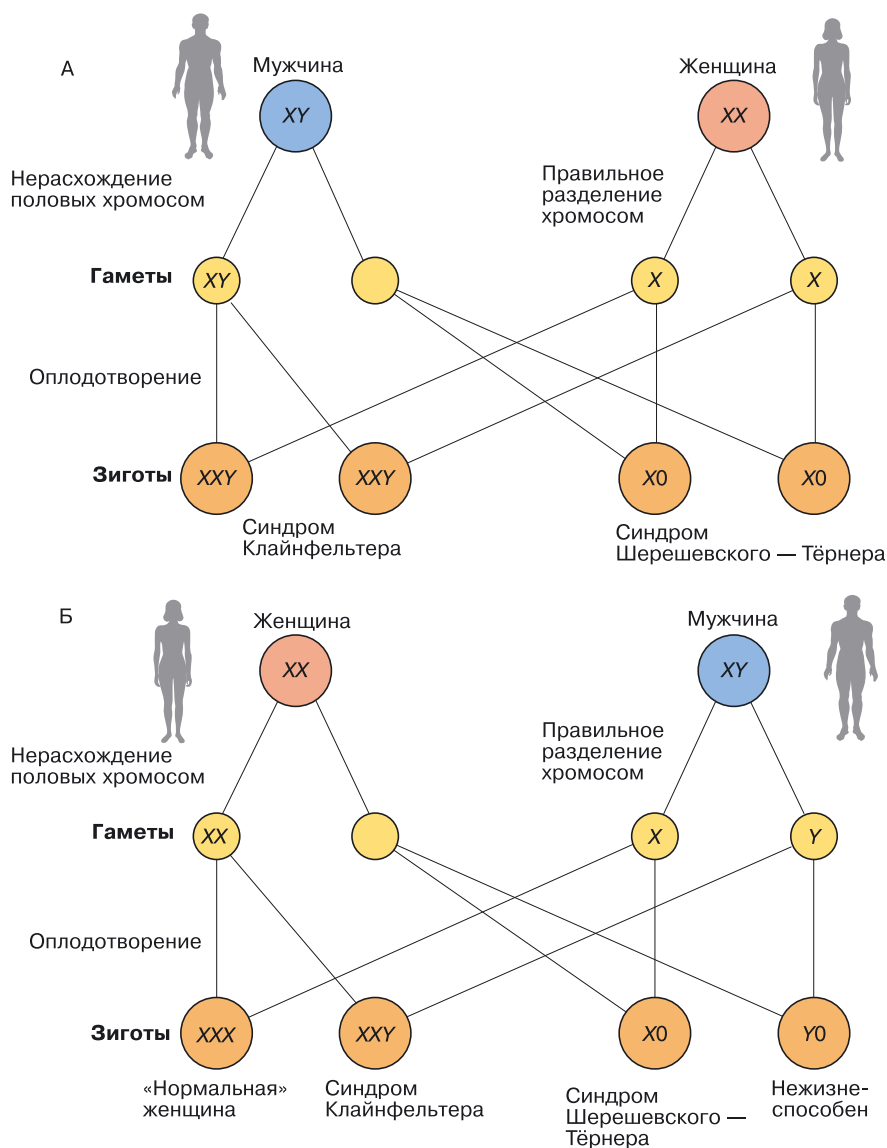


Рис. 99. Синдром Клайнфельтера и синдром Шерешевского — Тёрнера как результат нерасхождения отцовских половых хромосом (А) и нерасхождения материнских половых хромосом (Б)

ей. Поводом для консультирования могут стать близкородственные браки, работа супругов на вредном предприятии или наличие родственников, имеющих наследственные заболевания. При наличии в семье наследственных заболеваний врач-консультант составляет подробную родословную, на основании которой часто можно опреде-

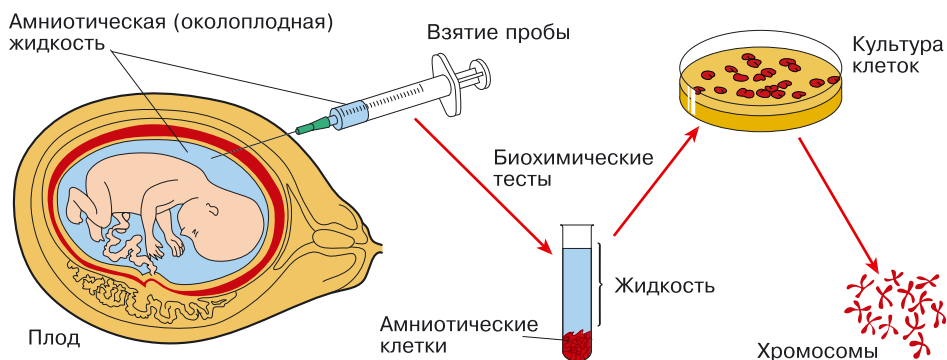


Рис. 100. Схема анализа околоплодной жидкости

лить тип наследования данного заболевания и рассчитать вероятность рождения больного ребёнка.

Если в консультацию обращается супружеская пара, у которой уже родился ребёнок с наследственной патологией, работа начинается с постановки точного диагноза, после чего определяют величину риска рождения второго больного ребёнка. Современные методы позволяют исследовать генотипы родителей с целью обнаружения конкретной мутации.

Эффективность консультирования значительно возрастает благодаря использованию современных методов дородовой (пренатальной) диагностики. Ультразвуковое обследование плода, взятие крови из пуповины и анализ околоплодной жидкости, в которой всегда есть клетки эмбриона и продукты его метаболизма, позволяют на ранних этапах беременности обнаружить наследственные заболевания (рис. 100). Если диагностируется болезнь, способы лечения которой на сегодняшний день не разработаны, родители могут принять решение о прерывании беременности.

В настоящее время риск рождения детей с наследственными заболеваниями может быть значительно снижен с помощью генетического консультирования и пренатальной диагностики. Применение лекарственных препаратов, корректирующих нарушенную функцию, или соблюдение определённой диеты, как в случае фенилкетонурии, позволяют компенсировать проявление многих мутаций. Последние достижения *генной терапии* по введению в клетки больного нормальной копии повреждённого гена позволяют надеяться, что проблема лечения многих наследственных заболеваний в будущем будет решена.

Этические аспекты в области медицинской генетики. Современная генетика человека тесно связана с практической медициной. Особый характер течения большинства наследственных болезней

(их пожизненность, прогрессирование, тяжесть и возможность передаваться от поколения к поколению) диктует необходимость пристального внимания к этическим аспектам в этой области. В рамках программы Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) по генетике человека регулярно публикуются рекомендации по этическим проблемам медицинской генетики. основополагающий принцип этих рекомендаций заключается в том, что применение генетических знаний в медицине должно находиться в соответствии с общими принципами медицинской этики: забота о благе больного и его семьи, непричинение вреда, свобода выбора при принятии пациентом решения на основе предоставленной информации, обеспечение личной и социальной справедливости. Большинство этических вопросов современной медицинской генетики решается в рамках четырёх принципов (делай добро, не навреди, автономия личности, справедливость) и трёх правил (правдивость, конфиденциальность, информированное согласие).

Принцип *делай добро* — это стремление к достижению блага для обследуемого или общества. Причём если раньше право решать, что является благом, принадлежало врачу-генетику, то в настоящее время решение принимает пациент вместе со своей семьёй. Принцип *не навреди* запрещает исследовательские и терапевтические действия, связанные с неоправданным риском неблагоприятных последствий для пациента. Принцип *автономии личности* — это уважение права на личный выбор, признание свободы и достоинства пациентов. Они являются собственниками своей жизни и здоровья, поэтому никакие вмешательства нельзя проводить без их согласия. Интересы недееспособного человека должны быть представлены доверенным лицом (чаще всего родственником больного), который на основании предоставленной ему информации оценит все недостатки и преимущества участия в обследовании или использовании генетических данных. Принцип *справедливости* постулирует равный подход к диагностике и лечению всех пациентов, справедливое и равное распределение всех выгод, а также предполагает корректное распределение общественных ресурсов между уже живущими и представителями будущих поколений. С медико-генетической точки зрения современное общество должно обеспечить заботу о здоровье своих потомков.

Правило *правдивости* обязывает врача и учёного говорить правду пациентам или участникам эксперимента. Причём правдивость между врачом и пациентом должна быть обоюдной. Если пациент скрывает какие-то факты своей родословной, это может отразиться на заключении врача.

Правило *конфиденциальности* в медицинской генетике соблюдать не всегда легко. Например, может ли пациент получить инфор-

мацию от врача о генетическом здоровье своих родственников, если они на это не согласны, могут ли родственники узнать о генетическом диагнозе пациента? И в том и в другом случае это может затрагивать моральные интересы каждой стороны.

Правило *информированного согласия* регламентирует проведение медицинских испытаний и вмешательств. Любое генетическое обследование должно проводиться с согласия пациента или его законных представителей на основе достаточной информации, выраженной в понятной для пациента форме.

Соблюдать абсолютно точно и однозначно все принципы и правила биоэтики чрезвычайно сложно. Каждая ситуация требует индивидуального подхода. В сложных случаях для принятия корректного решения врачу-генетику может потребоваться поддержка или заключение этического комитета при медицинском учреждении.

Вопросы для повторения и задания

1. Как влияют соматические мутации на здоровье людей?
2. Каковы последствия возникновения генеративных мутаций?
3. Назовите известные вам наследственные заболевания человека. Каковы их причины?
4. Какова главная задача медико-генетического консультирования? Есть ли в вашем населённом пункте медико-генетическая консультация? Если нет, узнайте, где находится ближайшая подобная организация. Выясните, какие методы диагностики в ней применяются.
5. Что относится к методам дородовой (пренатальной) диагностики?
6. Какие основные принципы и правила определяют этические нормы в области медицинской генетики?

Подумайте! Выполните!

1. Как вы считаете, в чём заключается опасность близкородственных браков?
2. Подумайте, в чём особенность изучения наследования признаков у человека.
3. Почему хозяйственная деятельность человека увеличивает мутагенное влияние среды?
4. Используя дополнительную литературу и ресурсы Интернета, подготовьте сообщение или презентацию о современных достижениях в области диагностики и лечения наследственных заболеваний.
5. «Генная терапия — медицина будущего». Согласны ли вы с этим утверждением? Аргументируйте свою точку зрения. Примите участие в дискуссии на эту тему.

6. Подготовьте доклад (реферат или презентацию) на тему «Наследственные аномалии человека, обусловленные генными, хромосомными или геномными мутациями. Причины роста числа наследственных аномалий в человеческой популяции».
7. Оцените уровень информированности населения вашего района о роли медико-генетического консультирования в формировании будущего здоровья нации. Обсудите результаты с одноклассниками, сделайте выводы и представьте их для ознакомления общественности.

Узнайте больше

Методы генетики человека. Человек является особым объектом генетических исследований. К нему неприменим основной метод генетики — гибридологический. Малочисленное, а порой единичное потомство затрудняет применение статистических методов в пределах одной семьи. Большая продолжительность жизни, сопоставимая с жизнью самого исследователя, и поздние сроки наступления половой зрелости тоже являются ограничивающими факторами для использования классических генетических методов.

В связи с этим в настоящее время для изучения генетических особенностей человека используют специальные методы. Существует четыре основных метода генетики человека: *цитогенетический, близнецовый, генеалогический и популяционно-статистический*. Наряду с ними используют и другие методы, основанные в первую очередь на современных достижениях биохимии и молекулярной биологии.

Биохимический метод позволяет изучать наследственные заболевания, обусловленные генными мутациями.

Дерматоглифический метод — изучение кожных узоров пальцев и ладоней для диагностики некоторых аномалий (результат множественного действия генов).

Иммунологический метод позволяет изучать гены, отвечающие за развитие патологий иммунной системы.

Клинический метод основан на изучении нарушения различных параметров жизнедеятельности человека.

Рассмотрим более подробно основные методы генетики человека.

Цитогенетический метод. Изучение строения и функций хромосом привело к выделению самостоятельного раздела биологической науки — цитогенетики. Началом развития цитогенетики человека можно считать 50—60-е гг. XX в., когда впервые удалось получить убедительные изображения всех хромосом человека и правильно определить их диплоидное число.

Цитогенетический метод позволяет изучать кариотип человека в норме и при различных патологиях. Кроме того, этот метод позволяет определять наличие или отсутствие полового хроматина.

Изучение кариотипа. Для изучения кариотипа используют только делящиеся клетки на стадии метафазы. Именно на этой стадии хромосомы максимально спирализованы и могут быть исследованы с помощью оптического микроскопа.

Для проведения исследования можно взять пробу ткани, клетки которой находятся в состоянии деления (красный костный мозг, ростовая зона эпителия). Такое исследование является *прямым*. Однако можно проводить исследования и на образцах ткани, не находящейся в стадии митотического деления. В этом случае необходимо предварительно обработать ткань для стимуляции митоза. Такое исследование называют *непрямым*. Для непрямого исследования кариотипа обычно используют форменные элементы крови — лейкоциты. Клетки помещают в питательный физиологический раствор и стимулируют их деление. Когда клетки вступают в стадию метафазы, деление останавливают, добавляя колхицин — вещество, разрушающее веретено деления. Хромосомы окрашивают, фотографируют и сравнивают полученный кариотип с эталонным кариотипом. Таким способом можно обнаружить хромосомные и геномные мутации. А использование специального дифференциального окрашивания позволяет определить мутацию с точностью до гена.

Определение полового хроматина. Шведским исследователем Барром было обнаружено, что в ядрах соматических неделящихся клеток у самок высших животных внутри ядра около мембраны присутствует окрашенное тельце (подобной структуры в клетках самцов нет). Учёный предложил назвать эту структуру половым хроматином. Позже эту структуру стали называть тельцем Барра. Выяснилось, что половой хроматин — это суперспирализованный участок одной из X-хромосом. За счёт наличия двух X-хромосом женский организм содержит больше генетической информации. Для выравнивания числа генов у мужских и женских особей участок в одной X-хромосоме суперспирализуется. Таким образом, в норме в ядре клеток женского организма находится одно тельце Барра, а в клетках мужского — ни одного. По числу телец Барра можно определить число X-хромосом в генотипе: число X-хромосом равно числу телец Барра плюс один. Этот метод используют для выявления или подтверждения геномных мутаций, связанных с изменением числа половых хромосом, — синдрома Клайнфельтера, трисомии по X-хромосоме, синдрома Шерешевского — Тёрнера.

Близнецовый метод. Близнецовый метод позволяет изучить закономерности наследования признака, установить, обусловлено ли фенотипическое проявление признака действием только генотипа или признак развивается под влиянием факторов внешней среды.

Метод основан на сравнении двух типов близнецов. *Однояйцевые*, или *монозиготные*, близнецы, как показывает само название, развиваются из одной оплодотворённой яйцеклетки (зиготы). На ранней стадии дробления возможно отделение делящихся клеток друг от друга и разделение зародыша на две части, каждая из которых начинает развиваться самостоятельно, как отдельный организм. *Разнояйцевые*, или *дизиготные*, близнецы образуются при оплодотворении двух (и более) яйцеклеток и с самого начала развития представляют собой разные организмы.

С генетической точки зрения монозиготные близнецы полностью идентичны, у них 100% генов одинаковые. Поэтому различия между монозиготными близнецами можно отнести только на счёт средовых влияний. Дизиготные близнецы так же близки, как обычные дети одних и тех же родителей (общими являются приблизительно 50% генов). В отличие от монозиготных близнецов дизигот-

ные близнецы могут быть разнополыми. Оценивая внутриспарное сходство монозиготных и дизиготных близнецов, можно сделать вывод о том, что в первую очередь влияет на развитие конкретного признака — среда или генотип.

Существенно дополнить классический вариант близнецового метода позволяют данные по разлучённым монозиготным близнецам, которые воспитывались в разных семьях. Это даёт возможность оценить воздействие разных сред на одинаковые генотипы и тем самым сделать вывод о том, что определяет развитие конкретного признака: среда или генотип изучаемого человека.

Генеалогический метод. Генеалогический метод (метод родословных) позволяет определить характер наследования признака и прогнозировать появление признака (как нормального, так и патологического) в следующем поколении.

Метод состоит из двух последовательных этапов: составление родословной с её графическим изображением (генеалогического дерева) и анализ полученных данных.

Составление родословной. Сбор сведений о семье начинается с пробанда — индивида, чья родословная составляется. Детей одной родительской пары (братьев и сестёр) называют сибсами. Чем больше поколений вовлекается в родословную, тем она, как правило, точнее. Для графического отображения родословной используют общепринятые стандартные символы (рис. 101). Поколения обозначают римскими цифрами. Последнее (самое старшее) поколение обозначают как поколение I. Арабскими цифрами нумеруют родственников одного поколения (весь ряд). Братья и сёстры располагаются в порядке рождения (от старших к младшим), таким образом, каждый член родословной имеет свой шифр. Все индивиды одного поколения должны располагаться строго в один ряд.

Генеалогический анализ родословной. Первая задача при анализе родословной — установление наследственного характера заболевания. Если в родословной один и тот же признак (болезнь) встречается несколько раз, то можно думать о его наследственной природе. Однако следует исключить возможность фенкопии (заболевание как будто бы передаётся, в то время как его причиной является некий постоянно действующий средовой фактор).

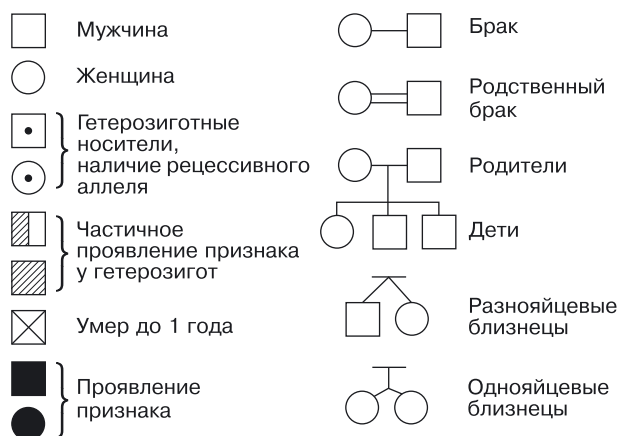


Рис. 101. Стандартные символы, принятые для составления родословных

После установления наследственного характера патологии определяется тип наследования.

Менделевским закономерностям наследования подчиняются только моногенные патологии (мутация одного гена). В зависимости от локализации и свойств гена различают аутосомно-доминантный и аутосомно-рецессивный типы наследования, когда ген расположен в одной из 22 пар аутосом (неполовых хромосом), X-сцепленные доминантные и рецессивные типы наследования (ген расположен в X-хромосоме), Y-сцепленное (голандрическое) наследование, а также митохондриальное (материнское, или цитоплазматическое) наследование, когда мутация происходит в геноме митохондрий.

Популяционно-статистический метод. Популяционно-статистический метод позволяет оценить частоту встречаемости признака и генотипа в определённой популяции, изучить генетическую структуру популяции (этнических групп, национальностей, групп компактного проживания).

В основе этого метода лежит закон, открытый ещё более ста лет назад. В 1908 г. его независимо друг от друга сформулировали английский математик Годфри Харди и немецкий врач Вильгельм Вайнберг. В настоящее время этот закон носит их имя — закон Харди — Вайнберга. Согласно этому закону, частота гомозиготных и гетерозиготных организмов в условиях свободного скрещивания при отсутствии давления отбора и других факторов (мутационного процесса, миграции, дрейфа генов и т. д.) остаётся постоянной, т. е. популяция находится в состоянии генетического равновесия. Таким образом, этот закон описывает взаимоотношения между частотами встречаемости аллелей в исходной популяции и частотой генотипов, включающих эти аллели, в дочерней популяции.

Рассмотрим популяцию, в которой некий ген находится в двух аллельных состояниях (A и a). Если частоту аллеля A обозначить как pA , а частоту аллеля a как qa , то $pA + qa = 1$. Возможные скрещивания в данной популяции можно записать следующим образом: $(pA + qa) \sigma \times \text{♀} (pA + qa)$. Частоты трёх возможных генотипов, полученных в данных скрещиваниях, выражаются уравнением $(p + q)^2 = p^2 + 2pq + q^2 = 1$, где p^2 — частота организмов с генотипом AA ; $2pq$ — частота организмов с генотипом Aa ; q^2 — частота организмов с генотипом aa . В этом легко убедиться, рассмотрев решётку Пеннета.

	pA	qa
pA	p^2AA	$pqAa$
qa	$pqAa$	q^2aa

Такое соотношение частот аллелей и генотипов будет поддерживаться в популяции неопределённо долгое время. Зная частоты генотипов, можно рассчитать частоты аллелей, и наоборот, зная частоты аллелей, можно определить частоты генотипов и, следовательно, предсказать соотношение фенотипов.

Рассмотрим конкретный пример, чтобы понять, как можно использовать знание закона Харди — Вайнберга.

Наследственная метгемоглобинемия¹ наследуется как рецессивный признак. В популяции эскимосов Аляски болезнь встречается с частотой 0,09%. Определите частоту гетерозигот (носителей рецессивного аллеля) в популяции. На какое число людей приходится один носитель рецессивного аллеля?

Больные — это люди с генотипом aa , их частота встречаемости (переводим в доли) — 0,0009, т. е. $q^2 = 0,0009$. Следовательно, $q = 0,03$. Так как $p + q = 1$, то $p = 1 - q = 1 - 0,03 = 0,97$. Частоту гетерозигот (организмов с генотипом Aa) высчитываем по формуле $2pq = 2 \times 0,97 \times 0,03 = 0,0582$ (5,82%). Если на 100 человек приходится около 6 носителей, следовательно, один носитель приходится на 16—17 человек ($100 : 6 \approx 16,6$). Ответ: доля носителей рецессивного аллеля метгемоглобинемии в данной популяции составляет 5,82%. Один носитель приходится на 16—17 человек в популяции.

32. Доместикация и селекция: основные методы и достижения

Вспомните!

Что такое селекция?

Приведите примеры известных вам пород животных и сортов растений.

Больше 10 тыс. лет назад человечество перешло к оседлому образу жизни и оказалось в полной зависимости от ограниченного числа видов растений и животных, которые оно могло использовать в качестве своих пищевых и хозяйственных ресурсов. Возникла насущная необходимость улучшать качества культивируемых растений и домашних животных, т. е. заниматься селекцией. *Селекция* (от лат. *selectio* — отбор) — наука о создании новых и улучшении существующих сортов растений, пород животных и штаммов микроорганизмов. Одновременно под селекцией понимают и сам процесс создания сортов, пород и штаммов. Теоретической основой селекции является генетика.

В настоящее время из всего растительного многообразия человек возделывает в качестве культурных растений около 150 видов, а из многих десятков тысяч видов позвоночных животных человек одомашнил лишь около 35.

Такое небольшое число одомашненных видов связано с тем, что *одомашнивание*, или *доместикация*, — это очень сложный процесс. Целью одомашнивания является использование животного в каче-

¹ *Метгемоглобинемия* — повышенное (более 1%) содержание метгемоглобина в эритроцитах периферической крови. Метгемоглобин, в отличие от гемоглобина, не переносит кислород.

стве домашнего питомца или сельскохозяйственного животного. Однако не все виды животных способны уживаться с человеком, лишь немногие могут преодолеть страх перед людьми. Кроме того, приручить — ещё не значит одомашнить. ■

Для одомашнивания необходимо, чтобы содержащееся в неволе животное регулярно приносило потомство. Только тогда можно заняться отбором и, сохраняя особи с самыми ценными для человека свойствами, спустя много столетий получить уже не просто прирученное, а настоящее домашнее животное. Одомашнивание коренным образом изменяет условия для дальнейшего развития вида. Естественная эволюция заменяется искусственной селекцией по необходимым человеку критериям. В ходе искусственного отбора у животных проявляются признаки, отличающие их от диких сородичей.

Центры происхождения культурных растений. Большой вклад в изучение происхождения культурных растений внёс выдающийся российский генетик и селекционер Николай Иванович Вавилов. Совершив в начале XX в. более 60 экспедиций по всему миру, Вавилов с коллегами обнаружил, что в определённых районах земного шара сконцентрировано наибольшее разнообразие сортов того или иного культурного растения. Например, для картофеля максимум генетического разнообразия связан с Южной Америкой, больше всего сортов риса было обнаружено в Китае и Японии, а кукурузы — в Мексике. Проанализировав результаты поездок, Вавилов пришёл к выводу, что районы максимального разнообразия являются центрами происхождения данной культуры и, как правило, связаны с древними очагами земледельческих цивилизаций. Вавилов выделил семь основных таких центров (рис. 102).

В ходе экспедиций была собрана уникальная коллекция семян растений, которая в дальнейшем постоянно пополнялась и изучалась сотрудниками Всесоюзного института растениеводства в Санкт-Петербурге, который сейчас носит имя Н. И. Вавилова. В настоящее время она насчитывает более 300 тыс. видов, сортов и форм. Начиная работу по созданию нового сорта растений, селекционер может подобрать из имеющегося богатейшего исходного материала те образцы, которые максимально полно обладают интересующими его признаками.

■ В древности при дворах правителей Сирии, Индии, Средней Азии, даже Европы часто держали гепардов, ценившихся за красоту и превосходные охотничьи качества. У основателя Монгольской империи Чингисхана (XII—XIII вв.) и у Карла I Великого (VIII—IX вв.), давшего имя династии Каролингов, были ручные гепарды. Однако прирученные гепарды не стали домашними.

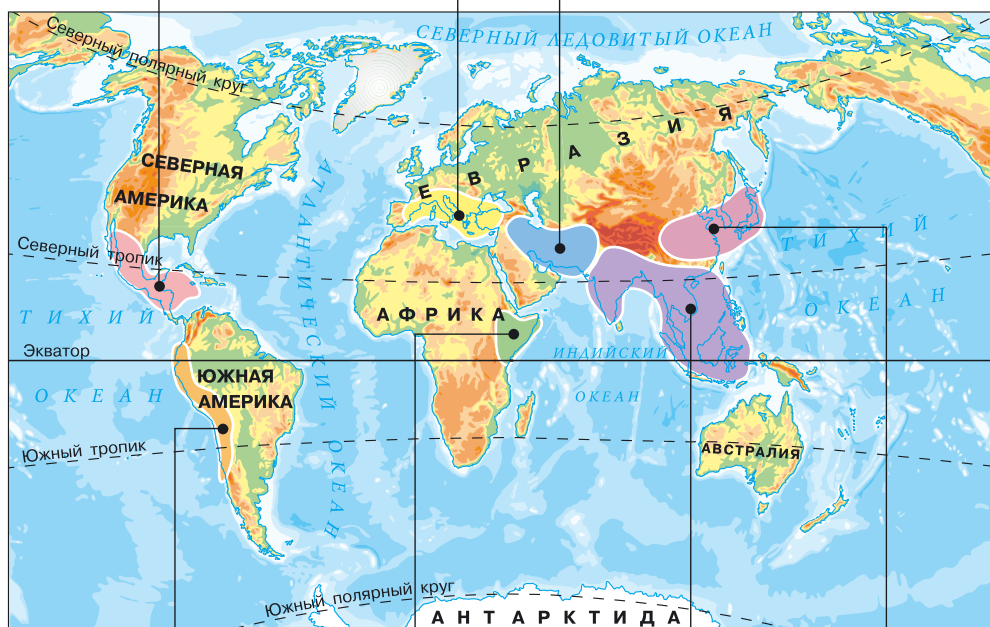
Центральноамериканский



Средиземноморский



Юго-Западноазиатский

Южноамериканский
(Андийский)Абиссинский
(Эфиопский)Южноазиатский
тропический

Восточноазиатский

Рис. 102. Центры происхождения культурных видов растений (по Н. И. Вавилову)

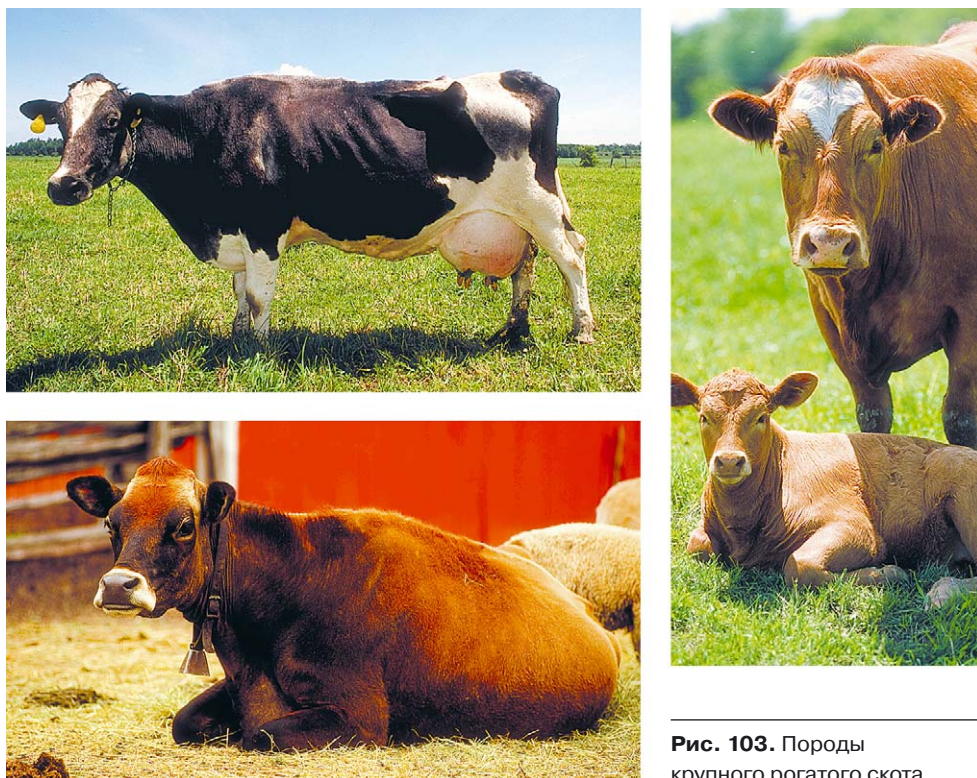


Рис. 103. Породы крупного рогатого скота

Сорт и порода. В современных условиях развития общества важное значение имеет интенсификация сельскохозяйственного производства, т. е. получение максимального количества продукции при минимальных затратах. С этой целью создаются высокопродуктивные породы животных и сорта растений, устойчивые к экстремальным условиям среды, к болезням и вредителям, обладающие определёнными необходимыми качествами (рис. 103). **Порода, сорт** или **штамм** — это совокупность особей одного вида, искусственно созданная человеком и характеризующаяся определёнными наследственными свойствами. Все организмы, составляющие такую совокупность, обладают сходными, наследственно закреплёнными морфологическими и физиологическими свойствами и способны максимально проявлять свои качества в тех условиях, для которых они были созданы. Такса может быть прекрасной норной охотничьей собакой, но в качестве гончей её использовать бессмысленно. Точно так же борзая, легко настигающая зайца, будет плохим охранником по сравнению с немецкой овчаркой.

Создавая определённые породы животных, мы часто обрекаем их на необходимость постоянного сосуществования с человеком. Коро-

ва, дающая 10 тыс. литров молока в год, погибнет в течение нескольких дней, если её не будут доить.

Основные методы селекции. Основными методами селекции являются отбор и гибридизация.

Отбор. Отбор бывает массовым и индивидуальным. *Массовый отбор* проводится по внешним, фенотипическим признакам и, как правило, используется в растениеводстве при работе с перекрёстно-опыляющимися растениями (рожь, кукуруза, подсолнечник и др.). Из огромного количества растений отбирается группа лучших по определённым свойствам растений. Их семена на следующий год высевают и из полученного потомства вновь отбирают лучшие растения, семенами которых засевают новое поле. Если продуктивность и другие признаки популяции улучшились, можно считать, что массовый отбор по фенотипу был эффективен. Таким способом выведены многие сорта культурных растений.

В отличие от массового при *индивидуальном отборе* выбирают отдельных особей и потомство каждой из них изучают в ряду поколений. Это позволяет достаточно точно оценить генотип каждого родительского организма и выбрать для дальнейшей работы те особи, которые оказываются наиболее оптимальными по сочетанию полезных для человека признаков и свойств. Сорта и породы, получаемые в результате индивидуального отбора, отличаются высокой однородностью и постоянством признаков (рис. 104).

Гибридизация. Наряду с отбором важным методом селекции является гибридизация (скрещивание).

Гибридизация может быть близкородственной, которая позволяет редким генам проявиться в гомозиготном состоянии и тем самым выявить скрытые рецессивные аллели, и неродственной, используемой для того, чтобы объединить в одном организме признаки различных сортов, пород, а иногда даже видов и родов.

Близкородственная гибридизация (инбридинг) переводит большинство рецессивных аллелей в гомозиготное состояние, из-за чего они начинают проявляться в фенотипе. Любой организм всегда содержит в своём генотипе рецессивные гены в скрытом состоянии (*Aa*). Если среди них есть гены, снижающие жизнеспособность, то повторяющийся инбридинг, переводя эти гены в гомозиготное состояние, может привести к вырождению породы или сорта. Эта закономерность справедлива и для людей, практикующих близкородственные браки. Известно немало семей, которые заключали браки только с близкими родственниками, с каждым поколением увеличивая число наследственных болезней. Так, например, выродилась и вымерла испанская королевская династия Габсбургов. Конечно, редкие рецессивные аллели могут оказаться и полезными, в этом случае проявление их в гомозиготной форме может увеличить жизнеспособ-

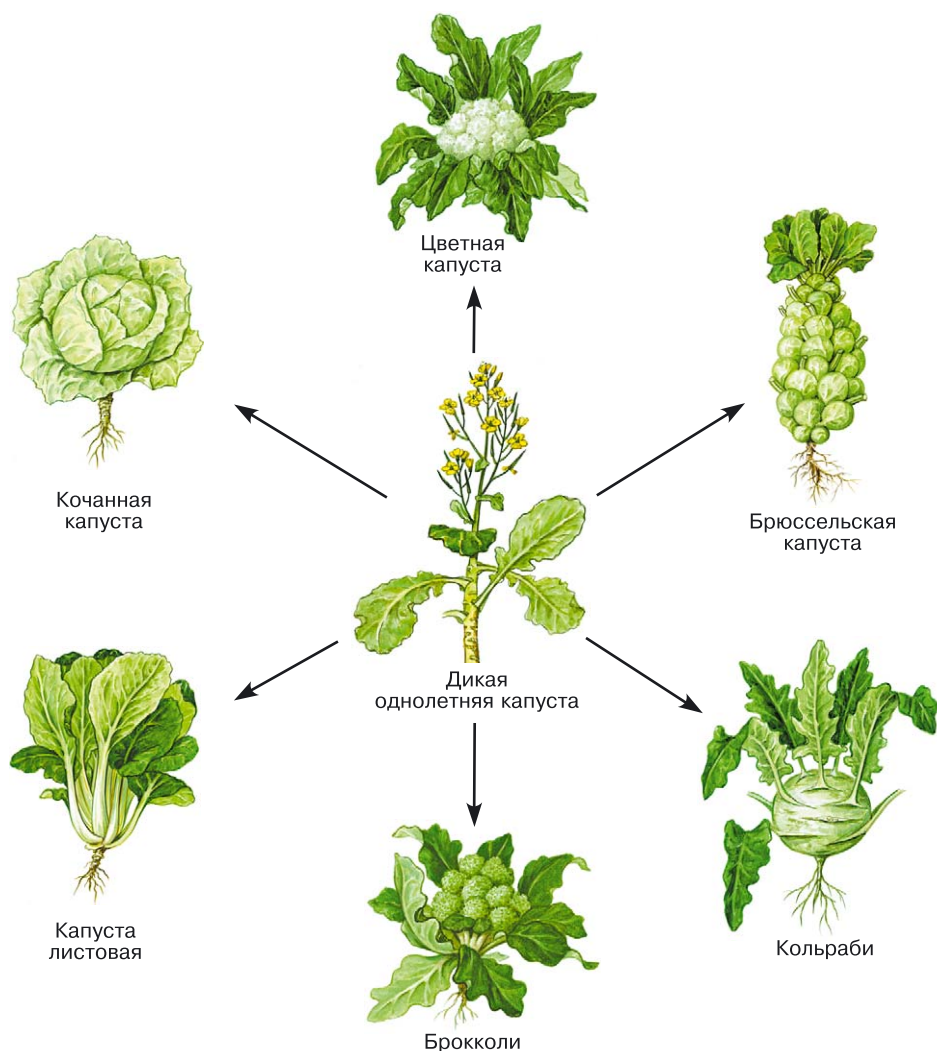


Рис. 104. Культурные разновидности капусты и их дикий предок

ность, выносливость или другие полезные качества их обладателя. Если такое случается, то селекционеры намеренно используют инбридинг в новой выводимой ими породе, что позволяет сохранить обнаруженный оригинальный или полезный признак.

Неродственную гибридизацию (аутбридинг) подразделяют на внутривидовую и отдалённую.

В основе *внутривидовой гибридизации* лежит направленное скрещивание особей, обладающих определёнными свойствами, с целью получения потомства с максимальным проявлением этих качеств.



Рис. 105. Лигры — межвидовые гибриды между львом и тигрицей — выглядят как огромные львы с размытыми полосами. Лигр-самка (слева) и лигр-самец (справа)

Например, один сорт растений обладает высокой продуктивностью, но легко заражается грибковыми болезнями, а другой, обладая высокой устойчивостью к заболеваниям, производит гораздо меньше семян. Скрещивая эти два сорта, в потомстве можно получить различные сочетания признаков, среди которых будут высокопродуктивные и одновременно устойчивые к заражению растения.

Отдалённая гибридизация заключается в скрещивании разных видов (рис. 105). В растениеводстве с помощью отдалённой гибридизации создана новая зерновая культура — тритикале, гибрид ржи с пшеницей. Эта культура сочетает многие свойства пшеницы (высокие хлебопекарные качества) и ржи (способность расти на бедных песчаных почвах).

Классическим примером межвидовых гибридов в животноводстве является мул, полученный при скрещивании осла с кобылицей, который значительно превосходит родителей по выносливости и работоспособности. В Казахстане при скрещивании диких горных баранов-архаров с тонкорунными овцами была создана знаменитая архаромериносная порода овец.

Однако применение межвидовых скрещиваний имеет определённые сложности, потому что получаемые гибриды часто оказываются бесплодными (стерильными) или низкоплодовитыми. Сте-



Рис. 106. Гетерозис по продуктивности гибрида (в центре), полученного при скрещивании двух различных линий кукурузы (рядом)

рильность гибридов связана с отсутствием у них парных гомологичных хромосом. Это делает невозможным процесс конъюгации. Следовательно, мейоз не может завершиться, и половые клетки не образуются. Известный российский учёный Георгий Дмитриевич Карпеченко (1899—1942) впервые предложил способ восстановления плодovitости у отдалённых растительных гибридов методом полиплоидии.

При скрещивании разных пород животных или сортов растений, а также при межвидовых скрещиваниях в первом поколении у гибридов повышается жизнеспособность и наблюдается мощное развитие. Явление превосходства гибридов по своим свойствам родительских форм получило название *гетерозиса*, или *гибридной силы* (рис. 106).

Нередко в растениеводстве получают и полиплоидные растения, отличающиеся более крупными размерами, высокой урожайностью и более активным синтезом органических веществ. Широко распространены полиплоидные сорта клевера, сахарной свёклы, ржи, гречихи.

В настоящее время человечество использует для сельскохозяйственного производства около 10% всей поверхности суши. Увеличивать эту долю уже невозможно, потому что практически все резервы исчерпаны. Тем большее значение приобретает селекционная работа учёных, которые, опираясь на основные закономерности наследственности и изменчивости, создают новые высокопродуктивные породы и сорта. В последние годы селекция активно вводит в практику приёмы и методы генной и клеточной инженерии.

Вопросы для повторения и задания

1. Что такое селекция?
2. Что называют породой, сортом, штаммом?
3. Какие основные методы селекции вы знаете?
4. Выберите критерии и сравните массовый и индивидуальный отбор.
5. Какие сложности возникают при постановке межвидовых скрещиваний?
6. Получают ли и используют ли в вашем регионе межвидовые гибриды? Используя дополнительные источники информации, выясните, гибридами каких видов являются такие организмы, как бестер, хонорик, лошак, рафанобрассика. Какой интерес представляют они для сельского хозяйства?

Подумайте! Выполните!

1. Что схожего и чем отличаются методы селекции растений и животных?
2. Почему для каждого региона нужны свои сорта растений и породы животных? Какие сорта и породы характерны для вашего региона? В чём их особенности и преимущества?
3. Из большого разнообразия видов животных, обитающих на Земле, человек отобрал для одомашнивания сравнительно немного видов. Как вы считаете, чем это объясняется?
4. Гетерозис в последующих поколениях обычно не сохраняется, затухает. Почему это происходит?
5. Как вы думаете, почему лигры рождаются только в зоопарках и не встречаются в дикой природе? Объясните свою точку зрения.
6. Как вы считаете, может ли применяться массовый отбор при разведении животных? Докажите своё мнение.
7. Используя дополнительную литературу и ресурсы Интернета, подготовьте сообщение или презентацию об истории селекции с древних времён до настоящего времени.
8. Существуют ли в вашем регионе селекционные станции или центры? Какие исследования они проводят? Каковы их достижения? Вместе с учителем организуйте экскурсию на такую станцию.
9. Организуйте выставку «Достижения селекционной работы», посвящённую деятельности местных селекционных центров и станций, селекционных хозяйств, сортоиспытательных участков (групповой проект).

Узнайте больше

Искусственный мутагенез. К одному из современных направлений селекции относится **искусственный мутагенез**. Как известно, спонтанные мутации в природе возникают чрезвычайно редко, а поэтому селекционеру приходится

ждать очень долго, иногда всю жизнь, пока в его хозяйстве не появится растение с желательной мутацией. Но мутационный процесс можно значительно ускорить, если использовать факторы, увеличивающие частоту мутаций, т. е. мутагенные факторы. Мы уже говорили об этих факторах, ими могут быть различные виды электромагнитного излучения, изменение температуры или некоторые химические вещества. В результате применения искусственного мутагенеза могут появиться организмы с самыми разнообразными мутациями. Большинство из этих мутаций окажутся бесполезными или вредными, но иногда могут возникнуть и такие, которые представляют для селекционера практический интерес. В этом случае мутантные особи можно скрещивать между собой, и в результате многочисленных повторных скрещиваний получить новый сорт или породу с новыми полезными признаками. Особенно значимые результаты с помощью искусственного мутагенеза получают в селекции микроорганизмов.

33. Биотехнология: достижения и перспективы развития

Вспомните!

Что такое биотехнология?

Какое значение для промышленности и сельского хозяйства имеет селекция микроорганизмов?

Биотехнология — это использование организмов, биологических систем или биологических процессов в промышленном производстве. Термин «биотехнология» получил широкое распространение с середины 70-х гг. XX в., хотя ещё с незапамятных времён человечество использовало микроорганизмы в хлебопечении и виноделии, при производстве пива и в сыроварении. Любое производство, в основе которого лежит биологический процесс, можно рассматривать как биотехнологию. Генная, хромосомная и клеточная инженерия, клонирование сельскохозяйственных растений и животных — это различные аспекты современной биотехнологии.

Биотехнология позволяет не только получать важные для человека продукты, например антибиотики и гормон роста, этиловый спирт и кефир, но и создавать организмы с заранее заданными свойствами гораздо быстрее, чем с помощью традиционных методов селекции. Существуют биотехнологические процессы по очистке сточных вод, переработке отходов, удалению нефтяных разливов в водоёмах, получению топлива. Эти технологии основаны на особенностях жизнедеятельности некоторых микроорганизмов.

Появляющиеся современные биотехнологии изменяют наше общество, открывают новые возможности, но одновременно создают определённые социальные и этические проблемы.

Генная инженерия. Удобными объектами биотехнологии являются микроорганизмы, имеющие сравнительно просто организованный геном, короткий жизненный цикл и обладающие большим разнообразием физиологических и биохимических свойств.

Одной из причин сахарного диабета является недостаток в организме инсулина — гормона поджелудочной железы. Инъекции инсулина, выделенного из поджелудочных желёз свиней и крупного рогатого скота, спасают миллионы жизней, однако у некоторых пациентов приводят к развитию аллергических реакций. Оптимальным решением было бы использование человеческого инсулина. Методами генной инженерии ген инсулина человека был встроен в ДНК кишечной палочки. Бактерия начала активно синтезировать инсулин. В 1982 г. инсулин человека стал первым фармацевтическим препаратом, полученным с помощью методов генной инженерии.

Аналогичным способом в настоящее время получают гормон роста. Человеческий ген, встроенный в геном бактерий, обеспечивает синтез гормона, инъекции которого используются при лечении карликовости и восстанавливают рост больных детей почти до нормального уровня.

Так же как у бактерий, с помощью методов генной инженерии можно изменять и наследственный материал эукариотических организмов. Такие генетически перестроенные организмы называют *трансгенными* или *генетически модифицированными организмами* (ГМО).

В природе существует бактерия, которая выделяет токсин, убивающий многих вредных насекомых. Ген, отвечающий за синтез этого токсина, был выделен из генома бактерии и встроен в геном культурных растений. К настоящему времени уже созданы устойчивые к вредителям сорта кукурузы, риса, картофеля и других сельскохозяйственных растений. Выращивание таких трансгенных растений, которые не требуют использования пестицидов, имеет огромные преимущества, потому что, во-первых, пестициды убивают не только вредных, но и полезных насекомых, а во-вторых, многие пестициды накапливаются в окружающей среде и оказывают мутагенное влияние на живые организмы (рис. 107).

Один из первых успешных экспериментов по созданию генетически модифицированных животных был произведён на мышах, в геном которых был встроен ген гормона роста крыс. В результате трансгенные мыши росли гораздо быстрее и в итоге были в два раза больше обычных мышей. Если этот опыт имел исключительно теоре-



Границы даны на январь 2022 г.

Площади посевов
трансгенных культур

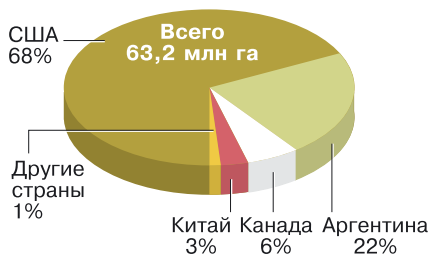


Рис. 107. Страны, выращивающие трансгенные растения.

Практически всю площадь посевов трансгенных культур занимают генетически модифицированные сорта четырёх растений: сои (62%), кукурузы (24%), хлопчатника (9%) и рапса (4%). Уже созданы сорта трансгенного картофеля, помидоров, риса, табака, свёклы и других культур

тическое значение, то эксперименты в Канаде имели уже явное практическое применение. Канадские учёные ввели в наследственный материал лосося ген другой рыбы, который активировал ген гормона роста. Это привело к тому, что лосось рос в 10 раз быстрее и набирал вес, в несколько раз превышающий норму.

Клонирование. Создание многочисленных генетических копий одного индивидуума с помощью бесполого размножения называют *клонированием*. У ряда организмов этот процесс может происходить естественным путём, вспомните вегетативное размножение у растений и фрагментацию у некоторых животных (§ 19). Если у морской звезды случайно оторвётся кусочек луча, из него образуется новый полноценный организм (рис. 108). У позвоночных животных этот процесс естественным путём не происходит.



Рис. 108. Регенерация морской звезды из одного луча

Впервые успешный эксперимент по клонированию животных был осуществлён исследователем Гёрдоном в конце 60-х гг. XX в. в Оксфордском университете. Учёный пересадил ядро, взятое из клетки эпителия кишки лягушки-альбиноса, в неоплодотворённую яйцеклетку обычной лягушки, чьё ядро перед этим было разрушено. Из такой яйцеклетки учёному удалось вырастить головастика, превратившегося затем в лягушку, которая была точной копией лягушки-альбиноса. Таким образом, впервые было показано, что информации, содержащейся в ядре любой клетки, достаточно для развития полноценного организма.

В дальнейшем исследования, проведённые в Шотландии в 1996 г., привели к успешному клонированию овцы Долли из клетки эпителия молочной железы матери (рис. 109).

Клонирование представляется перспективным методом в животноводстве. Например, при разведении крупного рогатого скота используется следующий приём. На ранней стадии развития, когда клетки эмбриона ещё не специализированы, зародыш разделяют на несколько частей. Из каждого фрагмента, помещённого в приёмную (суррогатную) мать, может развиваться полноценный телёнок. Таким способом можно создать множество идентичных копий одного животного, обладающего ценными качествами.

Для специальных целей можно также клонировать отдельные клетки, создавая культуры тканей, которые в подходящих средах способны расти бесконечно долго. Клонированные клетки служат заменой лабораторным животным, так как на них можно изучать воздействие на живые организмы различных химических веществ, например лекарственных препаратов.

При клонировании растений используется уникальная особенность растительных клеток. В начале 60-х гг. XX в. впервые было показано, что клетки растений даже после достижения зрелости

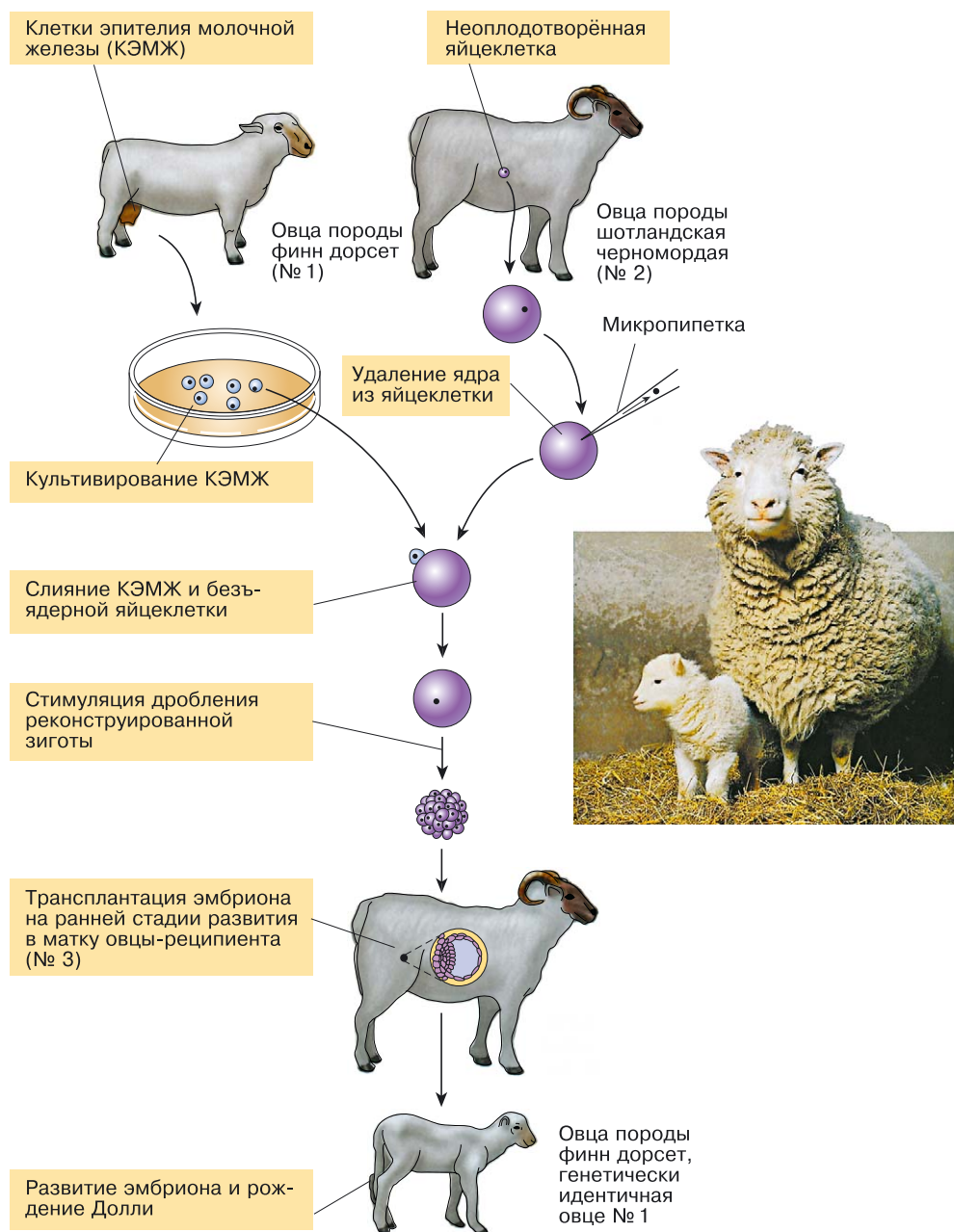


Рис. 109. Клонирование овцы Долли

и специализации в подходящих условиях способны давать начало целому растению (рис. 110). Поэтому современные методы клеточной инженерии позволяют осуществлять селекцию растений на кле-

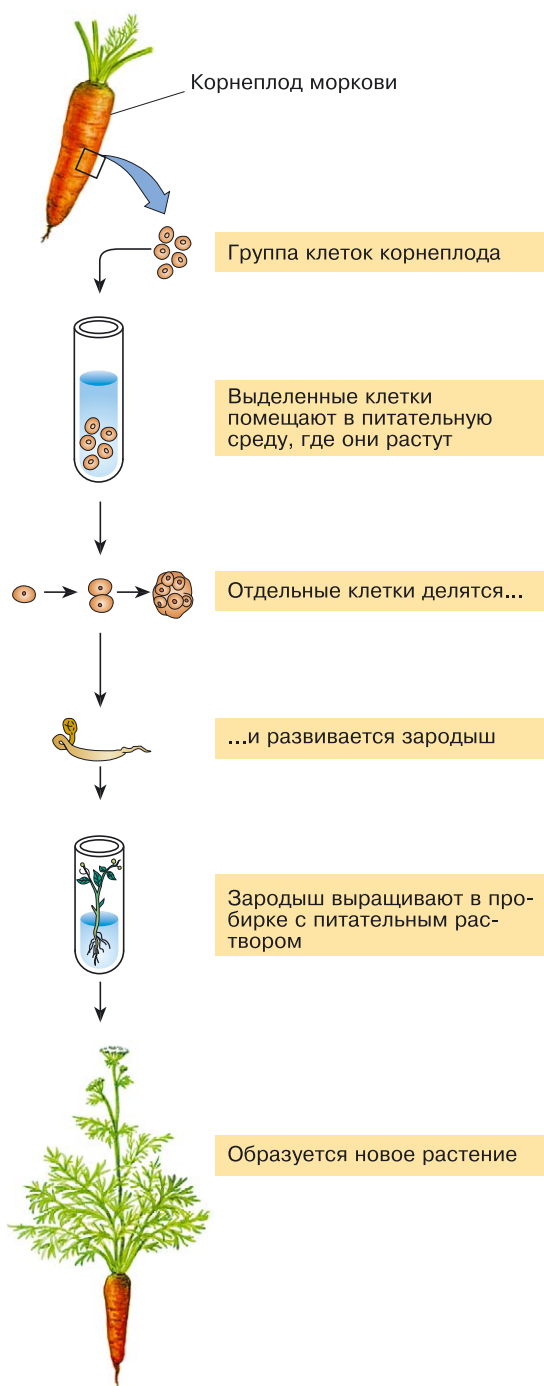


Рис. 110. Этапы клонирования растений
(на примере моркови)

точном уровне, т. е. отбирать не взрослые растения, обладающие теми или иными свойствами, а клетки, из которых потом выращивают полноценные растения.

Биобезопасность и этические аспекты развития биотехнологий. Использование современных биотехнологий ставит перед человечеством много серьёзных вопросов. Не может ли ген, встроенный в трансгенные растения томата, при съедании плодов мигрировать и встраиваться в геном, например, бактерий, живущих в кишечнике человека? Не может ли трансгенное культурное растение, устойчивое к гербицидам, болезням, засухе и другим стрессовым факторам, при перекрёстном опылении с родственными дикими растениями передать эти же свойства сорнякам? Не получатся ли при этом «суперсорняки», которые очень быстро заселят сельскохозяйственные земли? Не попадут ли случайно мальки гигантского лосося в открытое море и не нарушит ли это баланс в природной популяции? Способен ли организм трансгенных животных выдержать ту нагрузку, которая возникает в связи с функционированием чужеродных ге-

нов? И имеет ли право человек переделывать живые организмы ради собственного блага?

Эти и многие другие вопросы, связанные с созданием генетически модифицированных организмов, широко обсуждаются специалистами и общественностью всего мира. Созданные во всех странах специальные контролирующие органы и комиссии утверждают, что, несмотря на существующие опасения, вредного воздействия ГМО на природу зафиксировано не было.

В 1996 г. Совет Европы принял Конвенцию о правах человека при использовании геномных технологий в медицине. Основное внимание в документе уделено этике применения таких технологий. Утверждается, что ни одна личность не может быть подвергнута дискриминации на основе информации об особенностях её генома.

Введение в клетки человека чужеродного генетического материала может иметь отрицательные последствия. Неконтролируемое встраивание чужой ДНК в те или иные участки генома может привести к нарушению работы генов. Риск использования генотерапии при работе с половыми клетками гораздо выше, чем при использовании соматических клеток. При внесении генетических конструкций в половые клетки может возникнуть нежелательное изменение генома будущих поколений. Поэтому в международных документах ЮНЕСКО, Совета Европы, Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) подчёркивается, что всякое изменение генома человека может производиться лишь на соматических клетках.

Но, пожалуй, наиболее серьёзные вопросы возникают в связи с теоретически возможным клонированием человека. Исследования в области человеческого клонирования сегодня запрещены во всех странах в первую очередь по этическим соображениям. Становление человека как личности базируется не только на наследственности. Оно определяется семейной, социальной и культурной средой, поэтому при любом клонировании воссоздать личность невозможно, как невозможно воспроизвести все те условия воспитания и обучения, которые сформировали личность его прототипа (донора ядра). Все крупные религиозные конфессии мира осуждают любое вмешательство в процесс воспроизводства человека, настаивая на том, что зачатие и рождение должны происходить естественным путём.

Эксперименты по клонированию животных поставили перед научной общественностью ряд серьёзных вопросов, от решения которых зависит дальнейшее развитие этой области науки. Овечка Долли не была единственным клоном, полученным шотландскими учёными. Клонов было несколько десятков, а в живых осталась только Долли. В последние годы совершенствование техники клонирования позволило увеличить процент выживших клонов, но их смертность всё ещё очень высока. Однако существует проблема, ещё более се-

рьёзная с научной точки зрения. Несмотря на победное рождение Долли, остался неясным её реальный биологический возраст, связанные с ним проблемы со здоровьем и относительно ранняя смерть. По мнению учёных, использование ядра клетки молодой шести-летней овцы-донора сказалось на судьбе и здоровье Долли.

Необходимо существенно повысить жизнеспособность клонированных организмов, выяснить, влияет ли использование конкретных методик на продолжительность жизни, здоровье и плодовитость животных. Очень важно свести к минимуму риск дефектного развития реконструированной яйцеклетки.

Активное внедрение биотехнологий в медицину и генетику человека привело к появлению специальной науки — биоэтики. **Биоэтика** — наука об этическом отношении ко всему живому, в том числе и к человеку. Нормы этики выдвигаются сейчас на первый план. Те нравственные заповеди, которыми человечество пользуется века, к сожалению, не предусматривают новых возможностей, приносимых в жизнь современной наукой. Поэтому людям необходимо обсуждать и принимать новые законы, учитывающие новые реальности жизни.

Вопросы для повторения и задания

1. Что такое биотехнология?
2. Какие проблемы решает генная инженерия? С какими трудностями связаны исследования в этой области?
3. Как вы думаете, почему селекция микроорганизмов приобретает в настоящее время первостепенное значение?
4. Приведите примеры промышленного получения и использования продуктов жизнедеятельности микроорганизмов.
5. Какие организмы называют трансгенными?
6. В чём преимущество клонирования по сравнению с традиционными методами селекции?

Подумайте! Выполните!

1. Какие перспективы в развитии народного хозяйства открывает использование трансгенных животных?
2. Может ли современное человечество обойтись без биотехнологии? Организуйте выставку или сделайте стенную газету «Биотехнология: прошлое, настоящее, будущее».
3. Организуйте и проведите дискуссию на тему «Клонирование: за и против».
4. Приведите примеры продуктов, входящих в ваш рацион, которые были созданы с использованием биотехнологических процессов.

5. Докажите, что биологическая очистка воды является биотехнологическим процессом.
6. Создайте рекламный видеоролик «Биотехнология: достижения и перспективы развития».

Узнайте больше

Клеточная инженерия. В 70-х гг. прошлого века в биотехнологии стала активно развиваться клеточная инженерия. Клеточная инженерия позволяет создавать клетки нового типа на основе различных манипуляций, чаще всего гибридизации, т. е. слияния исходных клеток или их ядер. В одну из исследуемых клеток помещают ядро, принадлежащее клетке другого организма. Создают условия, при которых эти ядра сливаются, а затем происходит митоз, и образуются две одноядерные клетки, каждая из которых содержит смешанный генетический материал. Впервые такой опыт осуществил в 1965 г. английский учёный Г. Харрис, соединив клетки человека и мыши. Впоследствии были получены целые организмы, представляющие собой межвидовые гибриды, полученные методом клеточной инженерии. Такие гибриды отличаются от гибридов, полученных половым путём, тем, что в них находится цитоплазма обоих родителей (вспомним, что при обычном оплодотворении цитоплазма сперматозоида в яйцеклетку не проникает). Слияние клеток используют для получения гибридов с полезными свойствами между отдалёнными видами, которые обычным путём не скрещиваются. Удаётся также получать клеточные гибриды растений, несущие цитоплазматические гены (т. е. гены, находящиеся в митохондриях и пластидах), которые увеличивают устойчивость к различным вредным воздействиям.

Ваша будущая профессия

1. Что является предметом изучения науки геронтологии? Оцените, насколько развита эта наука в нашей стране. Есть ли в вашем регионе специалисты в этой области?
2. Как вы думаете, какими личными качествами должны обладать люди, работающие в медико-генетических консультациях? Объясните свою точку зрения.
3. Что вы знаете о профессиях, связанных с материалом этой главы? Найдите в Интернете названия нескольких профессий и подготовьте небольшое (не более 7—10 предложений) сообщение о той профессии, которая вас наиболее впечатлила. Объясните свой выбор.
4. Используя дополнительные источники информации, выясните, что является предметом изучения эмбриолога. Где можно приобрести такую специальность?
5. Какими знаниями должны обладать специалисты, занимающиеся селекционной работой? Объясните свою точку зрения.

Предметный указатель

А

аллель 176
альбинизм 214
амитоз 134
анафаза 132
анафаза I 145
анафаза II 145
анемия серповидноклеточная 214
антигены 108
антитела 109
аппарат Гольджи 75
ассимиляция 16, 119
АТФ 68
аутбридинг 229
аутосомы 201

Б

бактериофаг 103
баланс водный 47
бациллы 89
белки 55
биогеоценоз 23
биология клеточная 33
биополимер 49
биотехнология 233
биоэлементы 38
биоэтика 240
бластула 156
болезнь наследственная 213
— генная 213
— Дауна 215
— хромосомная 214
брожение 121

В

вакцина 108
вакуоль 78
вещество гидрофильное 42
— гидрофобное 42, 49
— жироподобное 51
— органическое 48

вибрионы 89
виroidы 107
вирус 101
витамины 52
ВИЧ (вирус иммунодефицита
человека) 103
включения 74
воски 50

Г

гамета 138, 145
гаметогенез 143
гастроула 156
гемофилия 214
ген 97, 171, 176
— аллельный 174
— эукариот 193
геном 192
геномика 192
генотип 171, 192
гетерозис (гибридная сила) 231
гетерополимеры 49
гиалоплазма 74
гибридизация (скрещивание) 228
— близкородственная 228
— внутривидовая 229
— неродственная 229
— отдалённая 230
гипотеза 25
гликоген 55
гликокаликс 82
гликолиз 121
глюкоза 54
гомеостаз 16, 120
гомополимеры 49
гормон 57
группа сцепления 188

Д

дезоксирибоза 54
денатурация 59
диморфизм половой 139

диполь 42
 дисахариды 54
 диссимилиация 16, 119
 ДНК 64
 — вирусная 101
 — кольцевая 90
 — функции 65
 доместикация 224
 доминирование 174
 дробление 155
 дуга рефлекторная 20
 дыхание клеточное 122

Ж

жгутики 81
 жиры нейтральные 49

З

закон 25
 — единообразия (доминирования, первый закон Менделя) 174
 — Моргана 188
 — независимого наследования (третий закон Менделя) 182
 — расщепления (второй закон Менделя) 174
 — сцепленного наследования (закон Моргана) 188
 — чистоты гамет 177
 зигота 150

И

изменчивость 17, 171, 206
 — комбинативная 208
 — мутационная 208
 — наследственная (генотипическая) 208
 — ненаследственная (модификационная) 206
 — фенотипическая 206
 — гистохимии 34
 — инструментальный 27
 — киносъёмки 34
 — клеточных культур 35
 — микрохирургии 35
 иммунитет 108

инбридинг 228
 индукция эмбриональная 157
 инженерия генная 229
 интерфаза 134
 информация генетическая 95

К

капсид 101
 капсула 91
 кариотип 86
 карты генетические 189
 клетка 30
 — прокариотическая 32, 88
 — эукариотическая 32
 клон 134
 клонирование 235
 код генетический 96
 кокки 89
 колонии 114
 комплекс Гольджи 75
 комплементарность 65
 консультирование медико-генетическое 215
 крахмал 55
 кроссинговер 188

Л

лейкопласты 77
 лизосомы 76
 липиды 49
 листки зародышевые 156

М

макроэлементы 37
 мезодерма 157
 мейоз 138, 144
 мембрана 72, 90
 метаболизм 16, 120
 метаморфоз 158
 метафаза 132
 метафаза I 145
 метафаза II 145
 метод 24
 — анкетирования 27
 — аутопсии 27
 — гибридологический 172
 — исторический 24

- микроскопии световой 34
- моделирования 25
- наблюдения 24, 27
- описательный 24
- рентгеноструктурного анализа 34
- селекции — гибридизация 228
- селекции — отбор 228
- сравнительный 24
- фотосъёмки 34
- центрифугирования 34
- цитохимии 34
- экспериментальный 24, 27
- микроскоп сканирующий 34
- электронный 34
- микроэлементы 38
- митоз (митотическое деление) 131, 134
- митохондрии 76
- модель жидкостно-мозаичная 72
- мономеры 49
- моносахариды 54
- мутагены 210
- биологические 211
- физические 210
- химические 210
- мутации 208
- генеративные 209, 213
- генные 209
- геномные 209
- соматические 209, 212
- хромосомные 209

Н

- набор хромосом гаплоидный 86
- — диплоидный 87
- наследование, сцепленное с полом 204
- наследственность 17, 171
- норма реакции 208
- нуклеоид 90

О

- обмен веществ и энергии 16, 120
- пластический 16, 119
- энергетический 16, 119
- оболочка ядерная 84

- дополнительная 101
- овогенез 143
- одомашнивание 224
- онтогенез 17, 155
- оплодотворение 150
- внешнее (наружное) 150
- внутреннее 151
- двойное 152
- искусственное 153
- перекрёстное 150
- опыление 154
- организмы автотрофные 123
- анаэробные 120
- аэробные 120
- гермафродитные 139
- гетерозиготные 177
- гетеротрофные 123
- гомозиготные 177
- двуполые 139
- миксотрофные 123
- многоклеточные 114
- одноклеточные 112
- раздельнополые 139
- трансгенные (генетически модифицированные) 234
- органогенез 157
- органогены 38
- органоиды 74
- двухмембранные 74
- мембранные 74
- немембранные 74
- одномембранные 74
- отбор 228
- индивидуальный 228
- массовый 228

П

- партеногенез 151
- период дорепродуктивный 168
- пострепродуктивный 169
- постэмбриональный 158
- репродуктивный 169
- старения 169
- эмбриональный (эмбриогенез) 155
- плазмиды 90
- пластиды 77
- плейотропия 194
- пол гетерогаметный 201

— гомогаметный 201
полипептиды 55
полиплоидия 210
полирибосомы 77
полисахариды 54
порода 227
почкование 138
правила 25
правило Чаргаффа 64
признак доминантный 174
— рецессивный 174
протеины 55
протеом 60
протеомика 60
профаза 132
профаза I 145
профаза II 145

Р

радиография 27
развитие 17
— внутриутробное 159
— неличиночное 159
— непрямоe (личиночное) 158
— постэмбриональное 155, 168
— прямоe 159
— с метаморфозом 158
— эмбриональное 163
— яйцекладное 159
размножение 16, 136
— бесполоe 136
— вегетативное 137
— половое 138
расщепление 172
рахит 53
редупликация 66
ренатурация 59
реснички 81
ретровирус 103
рефлекс 18
решётка Пеннета 180
рибоза 54
рибосомы 77, 91
ритмичность 18
РНК 67
— вирусная 101
— информационная (иРНК) 68
— матричная (мРНК) 68

— рибосомальная (рРНК) 68
— транспортная (тРНК) 68
рост неопределённый 159
— определённый 159

С

самооплодотворение 150
саморегуляция 16
сахароза 54
селекция 224
сеть эндоплазматическая (ЭПС) 74
— — агранулярная 74
— — гладкая 74
— — гранулярная 74
— — шероховатая 74
синдром Дауна 215
— Клайнфельтера 215
— «кошачьего крика» 215
— Патау 215
— плода алкогольный 167
— Шерешевского — Тёрнера 215
синтез матричный 99
система биологическая 21
скрещивание анализирующее 183
— дигибридное 180
— моногибридное 173
соединения высокомолекулярные 49
— гидрофильные 42
— гидрофобные 42, 49
— низкомолекулярные 49
сок ядерный 84
сорт 227
сперматогенез 143
сперматозоид 143
СПИД (синдром приобретённого иммунодефицита) 103
спириллы 89
спорообразование 137
споры бактерий 90
стабильность генетическая 133
стенка клеточная 90
структура белка вторичная 56
— — первичная 56
— — третичная 56
— — четвертичная 56
сыворотка 109

Т

таксис 19
телофаза 132
телофаза I 145
телофаза II 145
термография 27
теория 25
— клеточная 31
— наследственности хромосомная 188
терапия генная 217
транскрипция 67, 97
трансляция 98
транспорт мембранный 82
тропизм 19

У

углеводы 54
ультрамикроэлементы 39
уровень биогеоценотический (экосистемный) 23
— биосферный (глобальный) 23
— клеточный 21
— молекулярно-генетический 21
— организменный (онтогенетический) 23
— органный 23
— популяционно-видовой 23
— тканевый 23

Ф

фаза фотосинтеза световая 125
— — темновая 126
факторы мутагенные 210
факты 25
фенилкетонурия 214
фенотип 171
ферменты 56, 61
филогенез 17
фотосинтез 124
— бактериальный 128
фрагментация 138
фруктоза 54

Х

хитин 55
хлоропласты 77
хроматиды 131
хроматин 84
хромoplastы 77
хромосомы 84
— гомологичные 86
— неполовые (аутосомы) 201
— половые 201

Ц

целлюлоза 55
центр клеточный 77, 80
центромера 85
цикл жизненный 129
цитология 31
цитоплазма 74
цитоскелет 79

Ш

штамм 227
шизогония 137

Э

эктодерма 156
электрокардиограмма 27
электроэнцефалограмма 27
эмбриогенез 155
эндоскопия 27
энтодерма 156
этап энергетического обмена 118
— — — бескислородный 121
— — — кислородный 122
— — — подготовительный 120

Я

ядро 83
ядрышко 84
яйцеклетка 143

Именной указатель

А

Авиценна (Абу Али Ибн Сина) 8
 Аристотель 8, 13
 Ауэрбах Ш. 172

Б

Баев А. А. 191
 Бируни (Абу Рейхан Мухаммед
 Ибн Ахмет аль-Бируни) 8
 Броун Р. 31
 Бэр К. М. 9, 31, 143

В

Вавилов Н. И. 225
 Вайнберг В. 223
 Везалий А. 9
 Вейсман А. 31
 Вернадский В. И. 10
 Винклер Г. 192
 Виноградский С. Н. 126
 Вирхов Р. 31

Г

Гален К. 8, 24
 Гарвей У. 9, 30
 Геккель Г. 118
 Гиппократ 8
 Гольджи К. 75
 Гук Р. 30

Д

Дарвин Ч. 10, 31

И

Ивановский Д. И. 101

К

Кох Р. 10
 Крик Ф. 10, 64
 Кювье Ж. 9

Л

Ламарк Ж. Б. 9, 13
 Левенгук Антони ван 30, 143
 Леонардо да Винчи 9
 Линней К. 9

М

Мангольд Х. 157
 Мендель Г. И. 10, 25, 171
 Мечников И. И. 10, 118
 Мишер И. Ф. 63
 Морган Т. Х. 10, 188

Н

Навашин С. Г. 152

П

Павлов И. П. 10
 Пастер Л. 10
 Пеннет Р. 180
 Портер К. Р. 74
 Пристли Д. 126

Р

Робертсон В. 72

С

Сеченов И. М. 10, 25

Т

Тимирязев К. А. 126
Тревиранус Г. Р. 15

У

Уилкинс М. 60
Уотсон Д. 10, 64, 191

Ф

Флеминг А. 10
Фриз (Гуго де Фриз) 10, 208

Х

Харди Г. 223

Ч

Чаргафф Э. 64
Черчилль У. 27

Ш

Шванн Т. 9, 31, 35
Шлейден М. Я. 9, 31
Шмальгаузен И. И. 10
Шпеман Х. 157

Э

Энгельгардт В. А. 15
Энгельс Ф. 15, 31

Я

Янсен З. 30

Приложение

Нобелевские лауреаты XXI в.

Нобелевская премия — одна из наиболее престижных международных премий, присуждаемая за выдающиеся научные исследования, революционные изобретения или крупный вклад в культуру или развитие общества.

Сегодня среди молодёжи часто можно услышать, что все основные открытия в области естествознания уже сделаны. На самом деле множество явлений, объектов, законов ждут своих исследователей. Списки нобелевских лауреатов XXI в. по физиологии и медицине — яркое подтверждение этому.

Нобелевские лауреаты по физиологии и медицине XXI в.

- 2001 г. Леланд Хартвелл (США), Тимоти Хант (Великобритания), Пол Нерс (Великобритания) за открытие регуляторов клеточного цикла.
- 2002 г. Сидней Бреннер (Великобритания), Роберт Хорвиц (США), Джон Салстон (Великобритания) за открытия в области генетического регулирования развития человеческих органов.
- 2003 г. Пол Лотербур (США), Питер Мэнсфилд (Великобритания) за изобретение метода магнитно-резонансной томографии.
- 2004 г. Ричард Эксел (США), Линда Бак (США) за исследования обонятельных рецепторов и организации системы органов обоняния.
- 2005 г. Барри Маршалл (Австралия), Робин Уоррен (Австралия) за работы по изучению влияния бактерии *Helicobacter pylori* на возникновение гастрита и язвы желудка и двенадцатиперстной кишки.
- 2006 г. Эндрю Файер (США), Крейг Мелло (США) за открытие РНК-интерференции — эффекта гашения активности определённых генов.
- 2007 г. Марио Капекки (США), Мартин Эванс (Великобритания), Оливер Смитис (Великобритания) за открытие принципов введения специфических генных модификаций у мышей с использованием эмбриональных стволовых клеток.
- 2008 г. Харальд цур Хаузен (Германия) за открытие вируса папилломы человека, вызывающего рак шейки матки; Франсуаза Барре-Синусси (Франция), Люк Монтанье (Франция) за открытие ВИЧ.
- 2009 г. Элизабет Блэкбёрн (Австралия, США), Кэрол Грейдер (США), Джек Шостак (США) за открытие механизмов защиты хромосом теломерами и фермента теломеразы.
- 2010 г. Роберт Эдвардс (Великобритания) за технологию искусственного оплодотворения *in vitro*.
- 2011 г. Жюль Хоффман (Люксембург, Франция), Брюс Бётлер (США) за работы по изучению активации врождённого иммунитета; Ральф Стейнман (Канада, США) за открытие дендритных клеток и изучение их значения для приобретённого иммунитета.
- 2012 г. Джон Гёрдон (Великобритания), Синъя Яманака (Япония) за работы в области биологии развития и получения индуцированных стволовых клеток.

- 2013 г. Джеймс Ротман (США), Рэнди Шекман (США), Томас Зюдхоф (Германия) за открытия механизмов регуляции везикулярного транспорта — основной транспортной системы наших клеток.
- 2014 г. Джон О'Киф (США), Мей-Бритт Мозер (Норвегия), Эдвард Мозер (Норвегия) за открытие клеток, составляющих систему позиционирования в головном мозге.
- 2015 г. Уильям Кэмпбелл (США), Сатоси Омура (Япония) за открытия, касающиеся новых методов борьбы с инфекциями, вызываемыми паразитическими круглыми червями. Ту Юю (КНР) за открытия, касающиеся новых методов борьбы с малярией.
- 2016 г. Ёсинори Осуми (Япония) за открытие механизмов аутофагии.
- 2017 г. Джеффри Холл (США), Майкл Росбаш (США), Майкл Янг (США) за открытия молекулярных механизмов, управляющих циркадным ритмом.
- 2018 г. Джеймс Эллисон (США), Тасуку Хондзё (Япония) за разработки в области иммунотерапии рака.

Список рекомендуемых интернет-сайтов

<http://gotourl.ru/1100> Биологический факультет МГУ им. М. В. Ломоносова

<http://gotourl.ru/1101> Институт цитологии и генетики, Сибирское отделение РАН

<http://gotourl.ru/1102> Аграрный центр МГУ, Евразийский Центр по продовольственной безопасности

<http://gotourl.ru/1103> Факультет биоинженерии и биоинформатики МГУ им. М. В. Ломоносова

<http://gotourl.ru/1104> Государственный биологический музей им. К. А. Тимирязева

<http://gotourl.ru/1105> База знаний по биологии человека. Генетика

<http://gotourl.ru/1106> Видеоуроки

<http://gotourl.ru/1107> Медико-генетический научный центр

<http://gotourl.ru/1108> Министерство здравоохранения РФ

<http://gotourl.ru/1110> Образовательный видеопортал

<http://gotourl.ru/1111> Единая коллекция цифровых образовательных ресурсов

Таблица 4

Морфологические классы вирусов
(по Г. Шлегелю, 1987)

Класс	Наследственный материал	Представители
Спиральная структура. Голые капсиды	РНК	Вirus табачной мозаики
	ДНК	Колифаги
Спиральная структура. Капсиды с оболочкой	РНК	Миксовирусы (вирусы гриппа); паравирусы (вирусы свинки, кори), вирус бешенства
Многогранная структура. Голые капсиды	РНК	Вирусы ящера, полиомиелита
	ДНК (кольцевая)	Вirus папилломы
	ДНК (одноцепочечная)	Колифаги
Многогранная структура. Капсиды с оболочкой	РНК	Ретровирусы (вирусы саркомы, лейкоза, карциномы, энцефалита, жёлтой лихорадки, ВИЧ)
	ДНК	Вирусы простого герпеса, ветряной оспы, опоясывающего лишая, мононуклеоза
Сложные вирусы (многогранная головка и спиральный хвост)	ДНК (двухцепочечная)	Бактериофаги Т2, Т4, Т6
Сложные вирусы (комплексные)	ДНК (двухцепочечная)	Вирусы натуральной оспы, коревой оспы

Таблица 5

Характеристика полностью расшифрованных геномов ряда про- и эукариотических организмов
(по B. Alberts et al, 2002, *Molecular biology of the cell*)

Вид	Особенности организации	Место обитания	Размер генома, тыс. пар нуклеотидов	Количество генов, кодирующих белки
Эубактерии				
<i>Mycoplasma genitalium</i>	Вызывает воспаление слизистых оболочек	Половые пути млекопитающих и человека	580	468
<i>Synechocystis</i> sp.	Фотосинтезирующая цианобактерия	Пресная вода озёр и рек	3573	3168
<i>Escherichia coli</i>	Кишечная палочка, традиционный объект молекулярной биологии	Кишечный тракт млекопитающих и человека	4639	4289
<i>Helicobacter pylori</i>	Бактерия-паразит. Вызывает заболевания желудка	Желудок человека	1667	1590
<i>Bacillus subtilis</i>	Свободноживущая бактерия	Почва	4214	4099
<i>Mycobacterium tuberculosis</i>	Паразит, вызывающий туберкулёз	Разные ткани и органы человека	4447	4402
<i>Rickettsia prowazekii</i>	Бактерия-паразит, вызывающая тиф	Митохондрии	1111	834

Окончание табл. 5

Вид	Особенности организации	Место обитания	Размер генома, тыс. пар нуклеотидов	Количество генов, кодирующих белки
Архебактерии				
<i>Methanococcus jannaschii</i>	Литотрофная анаэробная метанопродуцирующая архебактерия	Термальные вулканические источники	1664	1750
<i>Archaeoglobus fulgidus</i>	Литотрофная анаэробная серная архебактерия	Термальные источники	2178	2493
<i>Aeropyrum pernix</i>	Аэробная органотрофная архебактерия	Подводные вулканы (чёрные курильщики)	669	2620
Эукариоты (грибы, животные, растения)				
<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	Дрожжи	Пиво, хлеб, виноградная шелуха	12 069	6300
<i>Caenorhabditis elegans</i>	Червь-нематода, модельный объект молекулярно-биологических исследований. Размер около 1 мм	Почва	97 000	≈ 19 000
<i>Drosophila melanogaster</i>	Мушка-дрозофила, объект генетических и других исследований	Органический субстрат (гниющие растительные остатки или специальная питательная среда)	137 000	≈ 14 000
<i>Homo sapiens</i>	Человек		3 200 000	≈ 25 000

Памятка для ученика

Памятка № 1. Этапы поиска путей решения проблемы

1. Выявление проблемы (противоречия между старым и новым знанием, конфликта точек зрения, ситуации неопределённости).
2. Выдвижение гипотезы решения проблемы.
3. Проверка гипотезы: выбор методов, отбор источников информации, получение и интерпретация результатов.
4. Подтверждение или опровержение гипотезы. При опровержении — выдвижение новой гипотезы.

Памятка № 2. Этапы работы над проектом.

Цель проектной деятельности — создание нового материального или нематериального продукта

1. Выбор тематики.
2. Определение задач, которые необходимо решить для создания продукта.
3. Планирование деятельности по решению задач.
4. Работа над проектом.
5. Оформление результатов работы.
6. Презентация проекта.

Памятка № 3. Этапы проведения исследования.

Цель исследовательской деятельности — создание нового знания

1. Выбор темы.
2. Определение задач, которые необходимо решить.
3. Выдвижение гипотезы, позволяющей решить поставленные задачи.
4. Проверка гипотезы: выбор методов, отбор источников информации, получение и интерпретация результатов.
5. Оформление результатов работы.
6. Защита работы.

Памятка № 4. Некоторые критерии оценки проекта и исследования

1. Значимость и актуальность темы.
2. Активность участников проекта, исследования.
3. Глубина проникновения в проблему.
4. Качество представления и оформления результатов.
5. Качество презентации.

Оглавление

Как работать с учебником	3
Введение: роль биологии в формировании современной картины мира, практическое значение биологических знаний	4
Глава 1. Биология как наука. Методы научного познания	6
1. Краткая история развития биологии	8
2. Сущность жизни и свойства живого	15
3. Уровни организации живой материи. Биологические системы как предмет изучения биологии. Методы биологии	21
Глава 2. Клетка	28
4. История изучения клетки. Клеточная теория	30
5. Химический состав клетки	36
6. Неорганические вещества клетки	42
7. Органические вещества. Общая характеристика. Липиды	48
8. Органические вещества. Углеводы. Белки	54
9. Органические вещества. Нуклеиновые кислоты	63
10. Эукариотическая клетка. Цитоплазма. Органоиды	69
11. Клеточное ядро. Хромосомы	83
12. Прокариотическая клетка	88
13. Реализация наследственной информации в клетке	95
14. Неклеточная форма жизни: вирусы	101
Глава 3. Организм	110
15. Организм — единое целое. Жизнедеятельность и регуляция функций организма	112
16. Обмен веществ и превращение энергии. Энергетический обмен	118
17. Пластический обмен. Фотосинтез. Хемосинтез	123
18. Деление клетки. Митоз	128
19. Размножение: бесполое и половое	136
20. Образование половых клеток у животных. Мейоз	142
21. Оплодотворение	150
22. Индивидуальное развитие организмов	155
23. Онтогенез человека. Репродуктивное здоровье	163
24. Генетика — наука о закономерностях наследственности и изменчивости. Г. Мендель — основоположник генетики	170
25. Закономерности наследования. Моногибридное скрещивание	173

26. Закономерности наследования.	
Дигибридное скрещивание	180
27. Хромосомная теория наследственности	187
28. Современные представления о гене и геноме	191
29. Генетика пола	200
30. Изменчивость: наследственная и ненаследственная	206
31. Генетика и здоровье человека	212
32. Доместикация и селекция: основные методы и достижения	224
33. Биотехнология: достижения и перспективы развития	233
Предметный указатель	242
Именной указатель	247
Приложение	249
Нобелевские лауреаты XXI в. Нобелевские лауреаты	
по физиологии и медицине XXI в.	249
Список рекомендуемых интернет-сайтов	250
Морфологические классы вирусов.	251
Характеристика полностью расшифрованных геномов	
ряда про- и эукариотических организмов	252
Памятка для ученика	254